

**Revista de Investigación
Agraria y Ambiental**

Volumen 8 Número 1 Enero - Junio de 2017
ISSN 2145-6097

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 8 Número 1 – enero - junio 2017 – ISSN 2145-6097

Cuerpo directivo

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR
Rector UNAD

CONSTANZA ABADÍA GARCÍA
Vicerrector Académica y de Investigación

LEONARDO YUNDA PERLAZA
Vicerrector de Medios y Mediaciones Pedagógicas

LEONARDO EVEMELETH SANCHEZ TORRES
Vicerrector de Desarrollo Regional
y Proyección Comunitaria

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

LUIGI HUMBERTO LÓPEZ GUZMÁN
Vicerrector de Relaciones Internacionales

JULIALBA ÁNGEL OSORIO
Decana Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

JENNY FABIOLA HERNÁNDEZ
Líder Nacional de Investigación UNAD

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

REINALDO GIRALDO DIAZ
Director Editor

LIBIA ESPERANZA NIETO GÓMEZ
Coeditora

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

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

Revisor de Estilo Lengua Inglesa

WILLIAM FRANCIS
B.T.A. - OREGON

Revisor de Estilo Lengua Portuguesa

SAMUEL DIOGO MEIRINHO
Universidade de Aveiro – Portugal

Revisor de Estilo Lengua Española

EFIGENIO HERNÁNDEZ
Universidad Nacional Abierta y a Distancia

Fotografía de la Portada

Cosecha de café, Finca El Guamo,
El Tambo. Cauca. Colombia.
Tomada y cedida por: Martha Isabel Cabrera Otálora

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).

Índice

Editorial

Reinaldo Giraldo Díaz & Libia Esperanza Nieto Gómez

9

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia

Determination of the risk to the potential erosion by water in the coffee zone of the Quindío, Colombia

A avaliação de risco para o potencial de erosão hídrica na região do café de Quindío, Colombia

Andrés Felipe Castro Quintero, Luz Adriana Lince Salazar, Orlando Riaño Melo

17

Estimation of the transfer of vascular epiphytes, as a conservation strategy in the municipality of Aguazul, Casanare, Colombia.

Valoración de la transferencia de epífitas vasculares, como una estrategia de conservación en el municipio de Aguazul, Casanare, Colombia

Estimativa da transferência de epífitas vasculares, como estratégia de conservação no município de Aguazul, Casanare, Colômbia.

Javier Orozco Ávila, Argemiro Valencia Marín, Jhon Fredy Betancur Pérez

27

Liberación ruminal de cuatro fuentes inorgánicas de magnesio por medio de la técnica in situ en ganado holstein en trópico alto

Release ruminal of four inorganic sources of magnesium through the technique in situ in holstein cattle in high tropic

Libertação no rúmen de quatro fontes inorgânicas de magnésio pela técnica in situ em Holsteins elevados trópicos

Wilmer Alfonso Cuervo Vivas, Héctor Jairo Correa Cardona

39

Cambios en la orientación productiva en el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México. ¿De chiveros a porcicultores?

Changes in the productive orientation in Garbanzao, Irapuato, Guanajuato, Mexico. From goat producers to pig producers?

Mudanças na orientação produtiva em Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México. ¿De produtores de cabros a produtores de suínos?

Randy Alexis Jiménez Jiménez, Alejandro Martínez Santibáñez, Valentín Espinosa Ortiz, María Camila Rendón Rendón, Luis Manuel Chávez Pérez

53

Isolamento de lectinas por cromatografia de afinidade

Aislamiento de lectinas por cromatografía de afinidad

Isolation of lectins by affinity chromatography

José Camilo Torres Romero, Myriam Janeth Ortega Torres, Jhon Alexander Infante Betancour, Cicero Antonio Maia Cavalcante

63

Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia

Bioprospecting of fungi mycorrhizal mycorrhizal as an alternative for the strengthening of the cultivation of avocado (*Persea americana* Miller) in Colombia

Bioprospecção fungos micorrízicos arbusculares como uma alternativa para fortalecer o cultivo de abacate (*Persea americana* Miller) na Colômbia

Sandra Patricia Montenegro Gómez, Silvia Eugenia Barrera Berdugo, Carlos Mario Valencia

71

Friabilidad del suelo: métodos de estimación con énfasis en la determinación cuantitativa de la resistencia al rompimiento

Soil friability: estimation methods with emphasis on the quantitative determination of breaking resistance

Friabilidade do solo: métodos de estimação com um ênfase na determinação quantitativa da força de ruptura

Edgar Alvaro Avila Pedraza

81

Marco teórico para la construcción de una propuesta de turismo rural comunitario

Theoretical framework for the construction of a proposal of rural community tourism

Quadro teórico para a construção de uma proposta para o turismo rural

Martha Cecilia Vinasco Guzmán

95

Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia

Biofilter with rice husk and vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) for the treatment of effluent from the WWTP of INPEC - Yopal, Casanare, Colombia

Biofiltro com casca de arroz e vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para o tratamento de efluente da PTAR INPEC - Yopal, Casanare, Colômbia

Sandy Kathyryne Higuera Infante

107

Biodegradación estimulada de los suelos contaminados con pesticidas organoclorados

Stimulated degradation of soils contaminated with organochlorine pesticides

Biodegradação do solo estimulado contaminado com pesticidas organoclorados

María Kopytko, Sandra Natalia Correa-Torres, Martha Jhoana Estévez- Gómez

119

Evaluación de la efectividad de distintas formulaciones de jabón con extracto de *Hypericum mexicanum* L.

Evaluation of the effectiveness of different formulations of soap with extract of *Hypericum mexicanum* L.

Avaliação da eficácia de diferentes formulações de sabão com extracto de *hypericão mexicanum* L.

Diana Carolina Corzo-Barragán, Diana Milena Gaitán-Vaca

131

Efectos tóxicos del paracetamol en la salud humana y el ambiente

Toxic effects of paracetamol on human health and the environment

Efeitos tóxicos do paracetamol na saúde humana e no ambiente

Rosa Leonor Acevedo-Barrios, Carlos Alberto Severiche-Sierra, Jose Del Carmen Jaimes Morales

139

Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación

Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery

Solo e água contaminação por hidrocarbonetos em Colômbia. Análise de fitorremediação como estratégia de recuperação de biotecnologia

Johana Andrea Velásquez Arias

151

Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia

(PV) photovoltaic hybrid system with interaction to the network to rural areas of Colombia

Sistema híbrido fotovoltaico (FV) com rede de interação para a Colômbia rural

Iván Mauricio Ostos Rojas, Carlos Andrés Collazos Morales, Hermes Enrique Castellanos Acuña, Claudia Patricia Fernández Arévalo

169

DOCUMENTOS DE TRABAJO

Actividad antimicrobiana de extractos etanólicos de propóleos obtenidos de abejas *Apis mellifera*

Antimicrobial activity of ethanol extracts of propolis obtained of bees *Apis mellifera*

Atividade antimicrobiana de extractos etanólicos de própolis obtido abelha *Apis mellifera*.

Boris Daniel Velasquez, Sandra Patricia Montenegro Gómez

183

Análisis de un modelo agroforestal cafetero en el municipio de Valparaíso, Caquetá, Colombia.

Analysis of a coffee agroforestry model in the municipality of Valparaíso, Caquetá, Colombia.

Análise do modelo cafetero agro-florescente no município de Valparaíso, Caquetá, Colômbia.

Ismael Dussan Huaca

195

Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica*) en la remoción de contaminantes.

Use of the common sponge (*Luffa cylindrica*) in the removal of contaminants

Usando a bucha comum (*Luffa cylindrica*) na remoção de contaminantes.

Ricardo Ignacio Pereira-Martínez, Juan Fernando Muñoz-Paredes, Diego Hernán Peluffo-Ordoñez

205

Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay

Management of biosolids and its possible application to the soil, case Colombia and Uruguay

Gestão de biossólido e sua possível aplicação ao solo, caso Colômbia e Uruguai

Alexander Rodrigo Melo Cerón, Alejandra Rodríguez González, Juan Manuel González Guzmán

217

**Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos
provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia**

Comparison of the regulations for the management of sludge from waste
water in Argentina, Chile and Colombia

Regulamentos de comparação para a manipulação de lamas de águas residuais
na Argentina, Chile e Colômbia

Fabián Andrés Ospina López, Alejandra Rodríguez González, Juan Manuel González Guzmán

227

**Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación
con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural
en Hato Corozal, Casanare, Colombia**

Technical analysis, socio-economic and environmental
of the electrification with photovoltaics isolated for rural housing
in Hato Corozal, Casanare, Colombia

Análise técnica, socioeconômica e ambiental da electrificação solar fotovoltaica
para a habitação rural isolada em Hato Corozal, Casanare, Colombia

Edwin Blasnilo Rúa Ramírez, Andrea Isabel Barrera Siabato, Martín Gómez Orduz

239

Cómo citar los artículos publicados
en el Volumen 8 Número 1 enero – junio de 2017

249

Instrucciones para los Autores

251

Editorial

Desde el primer número publicado en el año 2009, la Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, ha ido posicionando su proyecto editorial. RIAA es una revista científica de circulación semestral, que recibe artículos bien sea en español, inglés o portugués; en todos los casos los resúmenes de los mismos aparecen en tres idiomas, a saber, español, inglés y portugués. Próximamente, todos los artículos publicados contarán con versión completa en inglés con miras a una pronta inclusión en la base de datos bibliográfica *Scopus* y otros índices de citación.

La decidida vocación internacional de RIAA ha permitido su inclusión en bases de datos latinoamericanas e internacionales, 14 indexaciones le generan presencia en bases de datos, sistemas de indización, plataformas de evaluación de revistas, directorios selectivos, portales especializados y catálogos hemerográficos. Con ocho años de publicación ininterrumpida, a la fecha se tienen 209 artículos publicados, básicamente resultados de investigaciones científicas confiadas por académicos de todo el mundo.

La gestión editorial de los manuscritos postulados para publicación en la revista se realiza actualmente través de la Plataforma *Open Journal System OJS*, garantizando un riguroso y transparente sistema doble ciego de evaluación, una especializada corrección de estilo y una óptima diagramación e impresión. RIAA considera que autores y evaluadores son actores de buena fe en sus procesos editoriales, por lo cual estos declaran su compromiso ético y la no postulación simultánea en otras revistas o conflicto de intereses.

Los artículos de RIAA son publicados en formatos HTML y PDF y todos cuentan con el DOI respectivo, lo cual garantiza que se mantenga un alto nivel de visibilización mundial, el cual se irá complementando a futuro con otros sistemas de búsqueda como ORCID, PDFs dinámicos y *ePUB*, con conexión a gestores documentales como *Mendeley*, *RefWorks*, *EndNote*, y redes sociales científicas como *academia.edu* y *ResearchGate*.

RIAA ha manejado desde su inicio el doble ISSN: impreso y digital. En formato impreso se envían a los autores, los evaluadores y a los investigadores que así lo soliciten, hasta agotar existencias de los 1000 ejemplares que se imprimen en papel. Digitalmente, RIAA es accesible a texto completo, de forma gratuita, para la comunidad científica y académica de todo el mundo, siendo consultada tanto en HTML como en PDF.

El interés futuro de RIAA es posicionarse en el cuartil Q1 de *Scopus* y estar a la vanguardia de las revistas científicas del área agraria y ambiental latinoamericana. Actualmente en *Google Scholar Metrics* RIAA está catalogada como una de las mejores revistas colombianas en las temáticas agraria y ambiental (índice h5 de 8, en 2017, según *Publish or Perish PoP*). De esta manera, el equipo editorial de RIAA realiza un trabajo de avanzada que contribuye a mejorar el impacto de los investigadores y su producción científica.

Reinaldo Giraldo Díaz

Docente Asociado

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Libia Esperanza Nieto Gómez

Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Editorial

From the first number published in the year 2009, the Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, has been positioning its editorial project. RIAA is a scientific journal of semiannually circulation, that receives articles either in Spanish, English or Portuguese; in all cases the summaries of them appear in three languages, namely English, Spanish and Portuguese. Soon, all articles published will have full version in English with a view to an early inclusion in the bibliographic database Scopus and other citation indexes.

The decided international vocation of RIAA has allowed its inclusion in databases Latin American and international, at present 14 indexations that generate its presence in databases, indexing systems, platforms of evaluation of journals, selective directories, specialized portals and newspaper catalogs. With eight years of uninterrupted publication, currently, RIAA have 209 articles published, basically results from scientific research entrusted by academics from around the world.

The editorial management of manuscripts postulates for publication in the journal is currently carried out through the Platform Open Journal System OJS, ensuring a rigorous and transparent system double-blind evaluation, one specialized correction of style and an optimum layout and printing. RIAA considers that authors and evaluators are actors in good faith in their editorial processes, by which these declare their

commitment to ethical and non-application simultaneously in other journals or conflict of interests.

Articles of RIAA are published in HTML and PDF formats and all have the DOI respective, which ensures that you maintain a high level of visibility on a global scale. which in future it will be complemented with other search systems as ORCID, PDFs, dynamic and ePUB, connected to document managers as Mendeley, RefWorks, EndNote, and social networks science as academia.edu and ResearchGate.

RIAA has handled from its beginning the double ISSN: printed and digital. In printed format the issues are sent to the authors, the evaluators and researchers who so request, until exhaustion of stocks of 1000 copies are printed on paper. Digitally, RIAA is accessible to full text, free of charge, to the scientific and academic community around the world, being consulted both in HTML as well as PDF.

The future interest of RIAA will be position it in the quartile Q1 of Scopus and be at the forefront of scientific journals of Latin American on agricultural and environmental areas. Currently in Google Scholar Metrics RIAA is ranked as one of the best magazines in Colombia into the thematic agrarian and environmental (index H5 8, in 2017, according to Publish or Perish PoP). In this way, the editorial team of RIAA performs a job of advanced that contributes to improve the impact of researchers and its scientific production.

Reinaldo Giraldo Díaz

Docente Asociado

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Libia Esperanza Nieto Gómez

Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Editorial

Desde o primeiro número publicado no ano 2009, a Revista de Pesquisa Agrária e Ambiental RIAA, têm ido posicionando o seu projeto editorial. RIAA é uma revista científica de circulação semestral que aceita artigos em espanhol, inglês ou português e em todos os casos os resumos desses artigos são mostrados nas três línguas. Proximamente, todos os artigos serão publicados completos em inglês visando uma indexação na base de dados bibliográfica *Scopus* assim como outros índices de citação.

A vocação internacional decidida do RIAA tem permitido sua indexação nas bases de dados de América Latina e internacionais. Até agora, 14 indexações mostram presença em bases de dados, sistemas de índices, plataformas de avaliação de revistas, diretórios seletivos, portais especializados e catálogos hemerográficos. Durante 8 anos de publicação contínua, tem-se 209 artigos publicados, basicamente de resultados de pesquisas científica realizadas por acadêmicos do mundo inteiro.

O procedimento editorial dos manuscritos candidados para publicação no jornal é realizado pela plataforma *Open Journal System* OJS, garantindo o estrito e transparente sistema de dupla avaliação cega, correção de estilo especializado e ótima diagramação e impressão. RIAA considera que tanto autores quanto avaliadores são atores de boa fé nos seus processos editoriais, fato pelo qual declaram seu compromisso ético à não submissão simultânea em outros jornais ou conflito de interesse.

Os artigos do RIAA são publicados em formatos HTML e PDF e todos tem o respectivo DOI, garantindo um alto nível de visualização no mundo inteiro. No futuro, será complementado com outros sistemas de buscas como ORCID, PDFs dinâmicos e *ePUB*, com conexões aos gestores documentais como *Mendeley*, *RefWorks*, *End-Note*, e redes sociais científicas como *academia.edu* e *ResearchGate*.

RIAA tem administrado desde o começo a dupla ISSN: impresso e digital. O formato impresso envia-se para autores, avaliadores e pesquisadores que solicitam este formato, até acabar os 1,000 exemplares impressos. No formato digital RIAA mostra o texto completo de forma gratuita para toda comunidade científica e acadêmica ao redor do mundo e pode ser consultada em HTML e PDF.

O interesse mais próximo do RIAA é se colocar no quartil Q1 de *Scopus* e estar entre os melhores jornais científicos na área agrônômica e ambiental de América Latina. Na atualidade, o *Google Scholar Metrics* tem o RIAA catalogado como um dos melhores jornais colombianos nos temas agrário e ambiental (índice h5 de 8, em 2017, según *Publish or Perish* PoP). Assim, a equipe editorial do RIAA faz um trabalho importante que contribui a melhorar o impacto dos pesquisadores y sua produção científica.

Reinaldo Giraldo Díaz

Docente Asociado

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Libia Esperanza Nieto Gómez

Docente Asistente

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias
y del Medio Ambiente ECAPMA

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

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.



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.

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.

Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia

Determination of the risk to the potential erosion by water in the coffee zone of the Quindio, Colombia

A avaliação de risco para o potencial de erosão hídrica na região do café de Quindio, Colombia

Andrés Felipe Castro Quintero¹, Luz Adriana Lince Salazar² & Orlando Riaño Melo³

¹Ingeniero Agrónomo. ²Geóloga, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. ³Matemático, Ingeniero de Sistemas y Computación, Especialista en Sistemas de Información Geográfica, Magister en Geomática

^{1,2}Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFE. Manizales. Colombia.

³Maestría en Teledetección. Universidad Católica de Manizales. Colombia

¹andres.castro@cafedecolombia.com, ²luz.lince@cafedecolombia.com, ³orianom@unal.edu.co

Resumen

En la presente investigación se estimó la erosión potencial hídrica –EP-, la cual causa degradación y afectación a la fertilidad del suelo reduciendo el rendimiento del cultivo e incrementando los costos en producción. Se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE/RUSLE), con la fórmula $A = (R) * (K) * (LS)$, se realizó muestreo aleatorio simple, en once Unidades de suelo como repeticiones. Se trabajó con el factor de erosividad de la lluvia R reportados por Lince (2015), con precipitación mensual de 19 estaciones meteorológicas para el periodo 1999-2011. El cálculo del Factor (K) se cuantificó utilizando un simulador de lluvia, los datos obtenidos fueron interpolados con kriging, y por último se halló el factor topográfico –LS-, mediante el tratamiento a la imagen Aster GDEM, propiedad de la Nasa. Luego se procedió a utilizar el álgebra de mapas. Se encontró que la EP en los municipios de Buenavista, Calarcá, Córdoba, Pijao y Génova (Quindío, Colombia) presentaron más de 27 % del área de estudio con valores de calificación de pérdida de suelo Moderada, Alta y muy Alta que van desde las 26 a más

de 100 t/ha⁻¹.año⁻¹, y los municipios de Armenia, Circasia, Filandia, Montenegro, Quimbaya y La Tebaida, presentan EP con calificaciones consideradas como Ligera a Baja, representando hasta el 73% del área de estudio con valores que van desde 10 a 25 t/ha⁻¹.año⁻¹, y correspondiendo a pendientes poco pronunciadas, lo que representa pérdidas potenciales considerables en la capa orgánica del suelo.

Palabras clave: erosión potencial, interpolación Kriging, ponderación por distancia y simulador de lluvias.

Abstract

This research estimated erosion potential - EP-, which causes degradation and affecting the fertility of the soil by reducing the crop yield and increasing costs in production. Used the Universal equation of soil loss (USLE/RUSLE), with the formula $A = (R) * (K) * (LS)$, simple random sampling, in eleven ground units such as replications was conducted. He worked with R rain rainfall erosivity factor reported by

Lynx (2015), with monthly precipitation of 19 weather stations for the period 1999-2011. The calculation of Factor (K) was quantified using a rainfall Simulator, data were interpolated with kriging, and finally found the topographic factor - LS-, through treatment in the Aster GDEM image, owned by Nasa. They then proceeded to use the algebra of maps. Found that the EP in the municipalities of Buenavista, Pijao, Calarcá, Córdoba, Génova (Quindío, Colombia) presented more than 27% of the study area with moderate soil loss rating values, high and very high ranging from 26 to more than 100 t/ha¹.year¹, and the municipalities of Armenia, Circasia, Filandia, Montenegro, Quimbaya, and La Tebaida they present EP with qualifications considered light to low, representing up to 73% area of study with values that range from 10 to 25 t/ha¹.year¹, and corresponding to little steep slopes which represents significant potential losses in the organic layer of the soil.

Key-words: potential erosion, interpolation Kriging, weighting by distance, rain simulators.

Resumo

Neste trabalho de pesquisa foi estimada a erosão potencial hídrica –EP- causante da degradação afetando a fertilidade do solo reduzindo o rendimento do cultivo e incrementando o custo da produção. Utilizou-se a Equação Universal de

Perda de Solo (USLE/RUSLE), com a fórmula $A = (R) * (K) * (LS)$ e realizou-se uma coleta ao acaso simples de onze unidades de solo como repetições. Foi usado o fator de erosão da chuva R reportado por Lince (2015), com precipitação mensal de 19 estações climáticas no período de 1999-2011. O fator (K) foi calculado usando-se um simulador de chuva, foi feita uma interpolação com “kriging” e finalmente foi calculado um fator topográfico – LS – por médio do tratamento Aster GDEM, propriedade da Nasa. Logo após foi utilizado o álgebra de mapas. Foi encontrado que a EP nas localidades de Buenavista, Calarcá, Córdoba, Pijao e Génova (Quindío, Colômbia) apresentaram mais do que 27% da área de estudo com valores de qualificação de perda do solo moderada, alta e muito alta, desde 26 até mais de 100 t/ha¹.año¹, já as localidades de Armenia, Circasia, Filandia, Montenegro, Quimbaya e La Tebaida, apresentaram EP com valores considerados como leve para baixo, representando até 73% da área de estudo com valores de 10 a 25 t/ha¹.año¹, isto corresponde a inclinações pouco marcadas, o que representa perdas potenciais importantes na camada orgânica do solo.

Palavras-chave: erosão potencial, interpolação “Kriging” ponderação por distância, simulador de chuvas.

Introducción

La erosión hídrica de suelos en Colombia es un problema que afecta directamente la fertilidad del suelo, ocasionando baja producción de los cultivos e incrementando los costos en producción Rivera & Gómez (1991). En la zona cafetera hay procesos naturales que favorecen erosión como lo son las fuertes lluvias, material parental susceptible y las altas pendientes. En este sentido Castillo (2004), menciona que la erosión hídrica puede convertir el terreno en áreas degradadas. Mientras Sagredo (2005), afirma que los índices máximos se presentan cuando existe un uso y manejo inadecuado de

estos a favor de la pendiente. Por lo tanto, se hace necesario estimar la pérdida del suelo debido a la erosión hídrica en el departamento del Quindío, y de esta manera identificar zonas donde ocurre este proceso. Para calcular la pérdida de suelo en este caso para erosión potencial se hace por medio de la implementación de un modelo matemático empírico para el cálculo de la pérdida de suelo USLE/ RUSLE, desarrollado por Wischmeier & Smith (1978) y revisado por Renard, Meyer & Foster (1989).

Se aplicó la metodología de Hincapié & Rivera (2003) obteniendo los datos numéricos para

determinar la erosividad de la lluvia (R) en MJ.mm. ha⁻¹, adquiriendo datos de precipitación de 19 estaciones climática, aplicando la fórmula matemática del índice de Fournier IFM, reportado por Arnoldus, Boodt & Gabriels (1980) y el EI30 propuesto por Rivera & Gómez (1991) y Rivera *et al.* (2010) para la zona centro cafetera. La determinación del índice de Erodabilidad (Ki) en t/ha/MJ-1.mm-1. ha⁻¹, el cual es cuantificado utilizando el simulador de lluvia, determinando la susceptibilidad del suelo a erosionarse por acción de la gota de la lluvia, por último, se tuvieron en cuenta los factores topográficos LS, utilizando la metodología citada por Cocuyame & Salazar (2015). Donde, para ello se utilizó un modelo digital de elevación (ASTER GDEM), calculando la longitud y ángulo de la pendiente. En este estudio se asume que no existe cobertura alguna (C=1) y que el suelo se encuentra sin prácticas de manejo de conservación (P=1), y están a favor de la pendiente (Montes-León, Uribe-Alcantara, García-Celis, 2011), la cual permite estimar cuantitativamente la erosión potencial, representada por la pérdida de suelo en t/ha/año.

Los datos obtenidos fueron proyectados, utilizando Tecnologías de Información Geográfica TIG, que se convierte en herramienta de gestión ambiental y control de riesgos para analizar y prevenir la pérdida de suelos productivos (Rodríguez *et al.*, 2004). Además en la actualidad para la región cafetera de Colombia, se desconoce cuánta es la pérdida potencial de suelo por erosión, por tal motivo la información debe conocerse a escala regional o local, con el fin de diseñar las estrategias acordes a dichas condiciones, que en muchos casos la baja adopción de las prácticas de conservación, puede obedecer a recomendaciones generales que no corresponden a las condiciones ni a las necesidades de los productores. Por lo anterior, en esta investigación se plantea

llevar a cabo una predicción de erosión potencial en la zona cafetera del departamento del Quindío. Siendo necesario demostrar el deterioro real para crear conciencia, y proponer soluciones desde el interior de las comunidades.

Materiales y métodos

Área de estudio

El departamento del Quindío está ubicado en la región centro-occidental de Colombia; está dividido en 12 municipios: Armenia, Buenavista, Calarcá, Circasia, Córdoba, Filandia, Génova, La Tebaida, Montenegro, Pijao, Quimbaya y Salento, cuenta con una superficie de 1.845 km². En la mayoría de la zona cafetera del departamento, desde Filandia en el norte, hasta Génova en el sur. Cuenta con una temperatura media entre 18 y 24°C, y un promedio anual de lluvias de 2.000 a 4.000 mm.

Procesamiento

En el procesamiento se seleccionaron suelos desarrollados bajo distintas condiciones climáticas a lo largo de gradientes, para cada sitio se identificó el material parental de los suelos, teniendo en cuenta los sitios por rangos altitudinales (1200 a 1400 msnm – 1400 a 1600 msnm y 1600 a 1800 msnm, sembrados con cultivos de café. Se elaboró un mapa de muestreo aleatorio simple identificando once unidades de suelos representativas de la zona de estudio (Figura 1), distribuida de la siguiente forma: unidad Montenegro (11 muestras), Quindío (6 muestras), Génova (5 muestras), Chinchiná (3 muestras), Buenavista (3 muestras), Malabar (2 muestras), Filandia (2 muestras), La Concha (1 muestras), Patiobonito (1 muestras), Aluvial (1 muestras) y Sedimentario (1 muestras), el número de repeticiones está determinado por el área de la unidad cartográfica.

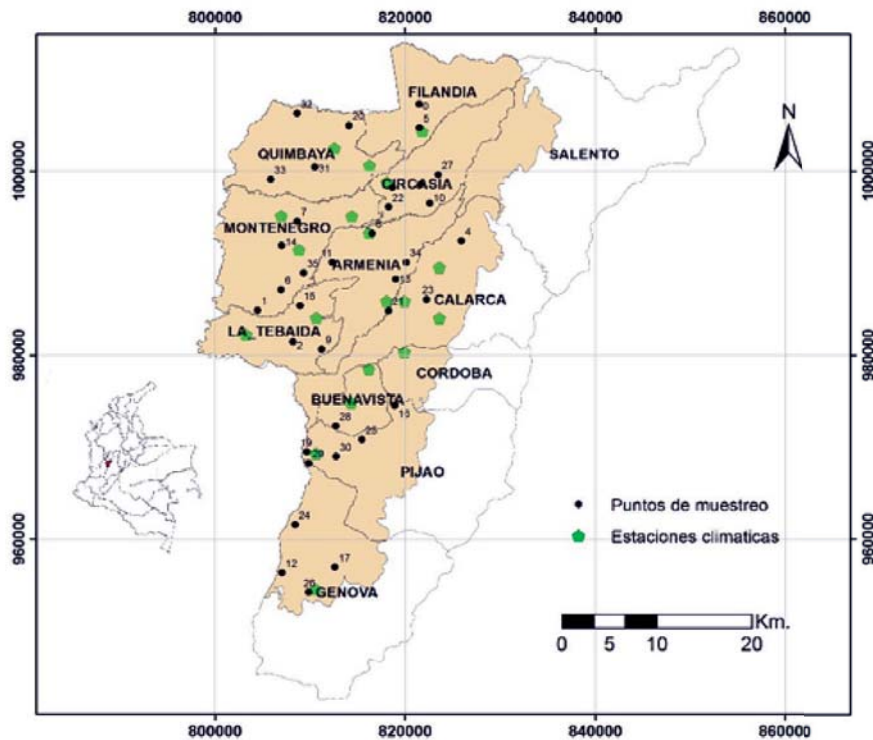


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

Fase de Campo. Se recolectaron 36 muestras de suelo a una profundidad de 0 a 10 cm, para un total aproximado de 30 kg por muestra, estas fueron empacadas en bolsas herméticas, llevadas a laboratorio y procesadas para realizar análisis físico y químico a los suelos.

Fase de Laboratorio. Las muestras fueron secadas al aire libre bajo sombra, se separó 1kg de suelo para análisis de propiedades físicas y 1 kg para análisis químico, el suelo sobrante fue pasado por un tamiz con diámetro , para ser utilizado en construcción de microparcels del simulador de lluvias.

Recopilación de datos primarios. Como mapa base, se empleó una imagen ASTER (Global Digital Elevation Model –GDEM), en formato raster con un tamaño de píxel 30m por 30 m. Dicha información geoespacial se adquirió de la NASA, (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>). Para la precipitación se obtuvo información histórica contenida en la red climática de Federación Nacional de Cafeteros Cenicafe y datos de erodabilidad.

Características del simulador de lluvias. El equipo para determinar el factor de erodabilidad (k) es del tipo Purdue Programable, que cuenta con Boquilla Vee–Jet 80 – 100; el cual se calibro con una precipitación de 80 mm/hora, y una presión de 8 PSI. Las microparcels se graduaron con inclinación del 70% que hace referencia a la pendiente promedio de la zona cafetera colombiana.

Descripción del procedimiento. Para calcular la pérdida de suelos por erosión hídrica se aplicó la ecuación universal de pérdida de suelo Wischmeier & Smith (1978), usando el proceso en el álgebra de mapas, con el software ArcGIS (ESRI, 2008; Figueroa-Jáuregui *et al.*, 2011; Flores López *et al.*, 2003), La cual consiste en crear un mapa *raster* para cada uno de los factores de la ecuación, la importancia radica en que puede ser usada en cualquier región geográfica modificando sus factores de acuerdo a las características propias de la región de estudio y así cuantificar la erosión potencial, usando una relación funcional de varios factores expresados en la ecuación USLE/RUSLE (ecuación 1):

$$A = (R) * (K) * (S \cdot L) \quad (1) \quad EI_{30} = \sum_{12} 30,4 (IMF) + 28,3 \quad (3)$$

Siendo: A la pérdida de suelo por unidad de superficie (t/ha.año), R es el factor lluvia o índice de erosión pluvial (MJ. mm /ha h), K es el factor erodabilidad del suelo (t.ha.h / ha.MJ.mm).determinado en simulador de lluvia, L es el factor longitud de pendiente (adimensional) y S es la pendiente (adimensional). No se tienen en cuenta los factores C y P, para el cálculo de la erosión potencial EP.

Determinación de los factores de la ecuación

El Factor de erosividad (R) lo definen varios investigadores como la agresividad climática, siendo la fuerza de las gotas de agua lluvia, las que causan la erosión, y una forma de estimar el factor R es emplear la expresión utilizada por Ramírez *et al.* (2007) y Lince & Castro (2015), los cuales trabajan con índice de Fournier modificado (IMF), el cual corresponde al promedio mensual propuesto por Arnoldus *et al.* (1980) y el índice de erosividad o capacidad de las lluvias de erosionar el suelo (EI30), recomendado por Rivera (1991) (ecuación 2). La precipitación de la zona de estudio se caracterizó mediante información histórica del periodo de 15 años, para ello se seleccionaron 19 estaciones meteorológicas. Para estimar el factor R se emplea la extensión *Spatial Analyst*, el método de interpolación distancia inversa ponderada IDW. Se obtuvo una superficie estimada a partir de este conjunto de datos los puntos dispersos en el área geográfica. El factor R utilizado fue de datos aportados en investigaciones anteriores para el departamento de Quindío por Lince & Castro (2015).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} \quad (2)$$

donde:

P_i = Precipitación media mensual del mes (mm)
 P_t = Precipitación media anual (mm).

Luego de ello se obtienen los valores de EI30 para la zona de estudio (ecuación 3)

donde:

EI_{30} = Erosividad en MJ.mm.ha⁻¹
 IMF = Índice modificado de Fournier (promedio mensual)

Factor (K) o Índice de Erodabilidad. Según (Figueroa *et al.*, 1991) se define como la susceptibilidad de un suelo a la erosión, este factor se realizó en 11 unidades de suelo, mediante el simulador de lluvia, el cual, cuantificó la pérdida de suelo arrastrado por escorrentía, salpique y depósito en canal y agua escorrentía e infiltrada, el suelo recolectado en cada prueba se dejó decantar durante 48 horas, luego fue secado en estufa a 105°C durante 48 h, y pesado en una balanza de precisión de 0.0001 g; los datos obtenidos fueron modelizados con métodos geoestadísticos con interpolación (KRIGING).

Factor topográfico (LS). Es la distancia horizontal desde el punto más alto, donde se origina el flujo superficial al punto más bajo donde comienza la deposición que fluye por escorrentía a un canal, mediante la ecuación usada por USLE/RUSLE (Renard *et al.*, 1997), implementando el modelo de dirección de flujo y acumulación de flujo con la extensión de *arcHydro* para *Arcgis*. (Foster *et al.*, 1977, citado por Barrios & Quiñonez, 2000). Se implementa el mapa de pendientes y se reclasifica, luego se procede a obtener la distribución espacial de LS. En el cálculo del factor L, fue necesario aplicar un relleno al DEM para evitar espacios vacíos en el raster, esto se elaboró mediante la herramienta "Fill" del software empleado, con la imagen resultante se creó un raster de pendientes -Slope- el mismo que fue utilizado para crear el factor empleando las ecuaciones 4 y 5.

$$\beta = \frac{(\sin\theta / 0.0896)}{3.0 (\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (4)$$

donde:

θ = Es el ángulo de la pendiente a partir de la metodología expuesta por Flores López *et al.*, (2003)

En *ArcMap* con *Raster Calculator* se emplea la siguiente fórmula para obtener el factor

- **Factor β** = ((Sin("Slope"*0.01745)/0.0896)/(3*Power(Sin("Slope"*0.01745),0.8)+0.56)). Hace referencia a la **ecuación (4)**

Obtenido el Factor β se procedió a obtener el factor M que también es un dato a considerar en la obtención del Factor L, para ello se emplea la ecuación 6 en "Raster Calculator"

$$m = \frac{\beta}{(\beta+1)} \quad (5)$$

- Factor M = "Factor_ β " / ("Factor_ β " + 1) Hace referencia a la ecuación (5)

Para obtener el cálculo del factor L con el área de drenaje aportadora se procedió a realizar la dirección de flujo y acumulación del flujo con las herramientas *Flow Direction* y *Flow Accumulation* respectivamente. Obtenidas estas dos imágenes se halló el Factor L en "Raster Calculator" empleando la Ecuación 6 y formula Desmet & Govers (1996) citado por (Shi *et al.*, 2004).

$$L(i,j) = \frac{(A(i,j)+D^2)^{m+1} - A(i,j)^{m+1}}{x^m * D^{m+2} * (22.13)^m} \quad (6)$$

donde:

A_(i,j) [m] =es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda).

D = es el tamaño del pixel.

X = es el factor de corrección de forma.

- **Factor L**=(Power(("flow_acc"+625),("Factor_M"+1)) / Power("flow_acc",("Factor_M"+1)))/Power(25,("Factor_M"+2)) *Power (22.13"Factor_M"). Hace referencia a la **ecuación (6)**

Para el cálculo del Factor S se empleara la ecuación 7.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (7)$$

donde:

S_(i,j) = Pendiente del factor de coordenadas (i,j)

$\beta_{(i,j)}$ = Pendiente (grados) con las coordenadas (i,j)

- **Factor S** = Con ((Tan ("Slope" * 0.01745) < 0.09),(10.08 * Sin ("Slope" * 0.01745) + 0.03),(16.8 * Sin("Slope" *0.01745)) - 0.5)). Hace referencia a la **ecuación (7)**

De igual modo se obtiene el ráster subfactor de (S) la cual es la pendiente del terreno, donde el ángulo β se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente según (McCool *et al.*, 1987), citado por Barrios & Quiñonez, 2000). Menciona Velásquez (2008) que, cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo que deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal=0,01745 radianes), para poder ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones. Una vez obtenidos todos los factores anteriores procedió a calcular el factor LS que es objeto de la presente metodología. Para ello se utilizó la ecuación 8.

Factor LS = "Factor_L" * "Factor_S". Hace referencia a la **ecuación (6 y 7)** (8)

Erosión Hídrica Potencial

En el caso de la erosión hídrica potencial, se multiplican los factores de la ecuación, hallados en las ecuaciones anteriores.

A= (Factor K) * (Factor R) * (Factor LS). Hace referencia a la **ecuación (8)**

La clasificación de pérdida de suelo potencial se comparó con la propuesta por Pérez (2001)

Programación de la ecuación.

Para fines prácticos se estructuró en la herramienta ModelBuilder, el modelo de geoprociamiento automatizando mediante análisis espacial y de administración de datos, además se representa con un diagrama que concadena secuencias de procesos y herramientas de geoprociamiento utilizando la salida y entrada de las variables de la ecuación (Figura 2) en esta metodología se adaptó para reemplazar símbolo por F, para facilidad el modelo (Quintana *et al.*, 2009).

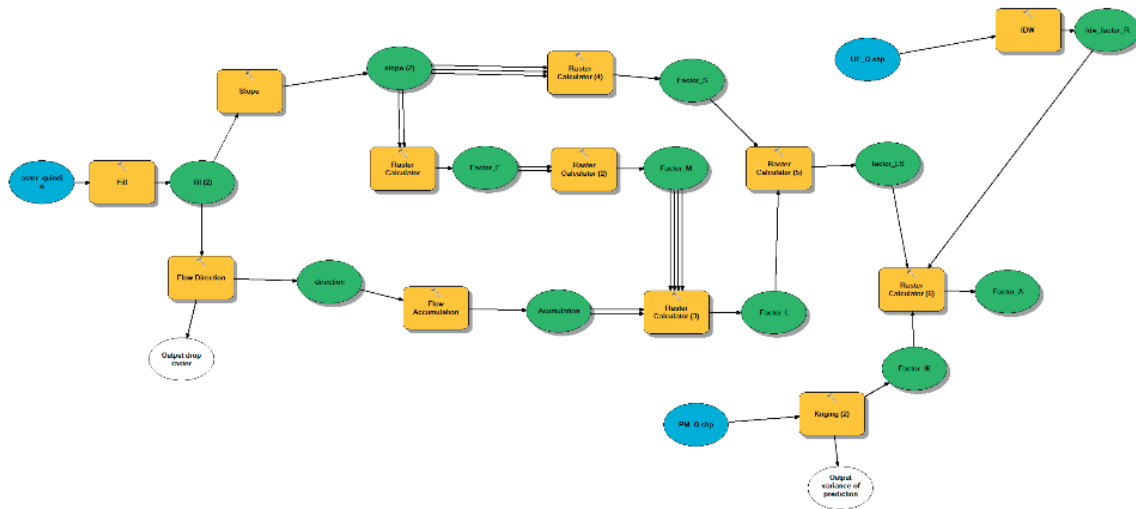


Figura. 2. Diagrama de la estructura con Modelbuilder para EP.

Resultados y discusión

Factor de erodabilidad (K). En la Figura 3 se ilustran los valores del factor K de erodabilidad en cada municipio, los cuales van desde 0.0002 hasta 0.0077 t/ha/MJ-1.mm-1.ha-1. Siendo este el rango de susceptibilidad natural como lo indican Rivera & Gómez (1991). En los municipios Buenavista, Calarcá, Córdoba, Génova, Montenegro, Pijao y Quimbaya; se presentan valores de susceptibilidad altos que van desde 0.0041 a 0.0077 t/ha/MJ-1.mm-1.ha-1; siendo los municipios de Buenavista y Pijao, los que presentan mayor porcentaje del área susceptible con valores de 90 y 83 % en área total de superficie. Esto corresponde a suelos con pendientes superiores al 30 % calificada como fuerte.

En los municipios de Génova, Montenegro y Quimbaya muestran valores de susceptibilidad Moderados que van desde 0.0041 a 0.0057 t/ha/MJ-1.mm-1.ha-1, con porcentajes susceptible con valores 5, 25 y 60% en su área de estudio. Mientras que los municipios de Armenia, Circasia, Filandia y La Tebaida corresponden a los valores susceptibilidad Baja con valores que oscilan entre 0.0002 a 0.0041 t/ha/MJ-1.mm-1.ha-1. Presentando el menor porcentaje del área susceptible comprometida con valores del 10, 15, 8 y 30 % de su área total de la superficie; esto se puede deber a que las pendientes de estas zonas están clasificadas como ligera a bajas 0 a 15 %.

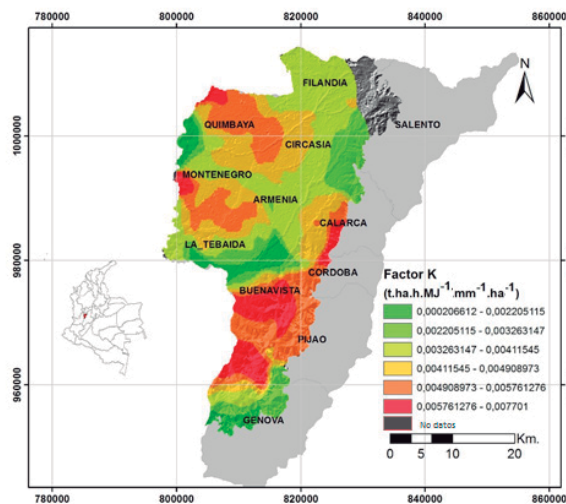


Figura 3. Mapa de erodabilidad del departamento de Quindío

Pérdida de suelo potencial (EP). En la Figura 4, como se muestra en la parte baja del mapa, se observa la pérdida de suelo con valores que van de 9.431 a 202.17 t/ ha⁻¹. año⁻¹. Los cuales se clasificaron con las pérdidas de suelos propuesta por Pérez (2001). Es importante mencionar que se realizó la proyección con los promedios de pérdidas potenciales de suelos en la zona cafetera del departamento del Quindío que es el resultado de multiplicar, el factor R agresividad de la lluvia, Factor K de erodabilidad o susceptibilidad de los suelos a la erosión y por último longitud y gradiente de la pendiente, llevándolo a condiciones extremas donde no existirían cobertura ni prácticas de conservación.

Los municipios de Buenavista, Calarcá, Córdoba, Génova, y Pijao, presentaron el 27 % de área total de superficie con riesgo a la erosión potencial. Esto municipios se clasificaron de Moderada, Alta y Muy Alta con pérdidas que van desde 26 o más de 100 t/ ha⁻¹. año⁻¹. En los municipios de Armenia, Circasia, Filandia, Montenegro, Quimbaya y La Tebaida presentan calificación de Ligera a Baja en un porcentaje del 73 % de su área total de superficie con valores que van desde 10 a 25 t/ ha⁻¹. año⁻¹. En los municipios de Armenia, Montenegro y La Tebaida fueron los que menores pérdidas presentan.

Aunque las pérdidas fueron menores puede llegar a causar daños irreparables en la capa orgánica del suelo, donde se encuentra la mayor cantidad de raíces del café, encargadas de la nutrición de la planta. El espesor del suelo puede perder de 2 a 3 mm por cada 30 t.ha.año como lo reportan estudios previos de CENICAFE en 1975, lo que significa que 27 % del área de estudio puede llegar perder entos 2 mm. ha . año y en un periodo de 10 años por hectárea puede llegar a perder 2 cm de espesor de la capa fértil del suelo, lo cual genera infertilidad. Por lo tanto, para cada uno de los municipios se clasificó la pérdida de suelo según la Tabla 1.

Tabla 1. Clasificación de la pérdida de suelo de acuerdo con la calificación.

Pérdida de suelo (t/ha ⁻¹ .año)	Calificación de pérdida	Área (%)
Menor de 10	Ligera	43
10 a 25	Baja	30
26 a 50	Moderada	21
51 a 100	Alta	4
Mayor de 100	Muy alta	2

Fuente: Pérez (2001).

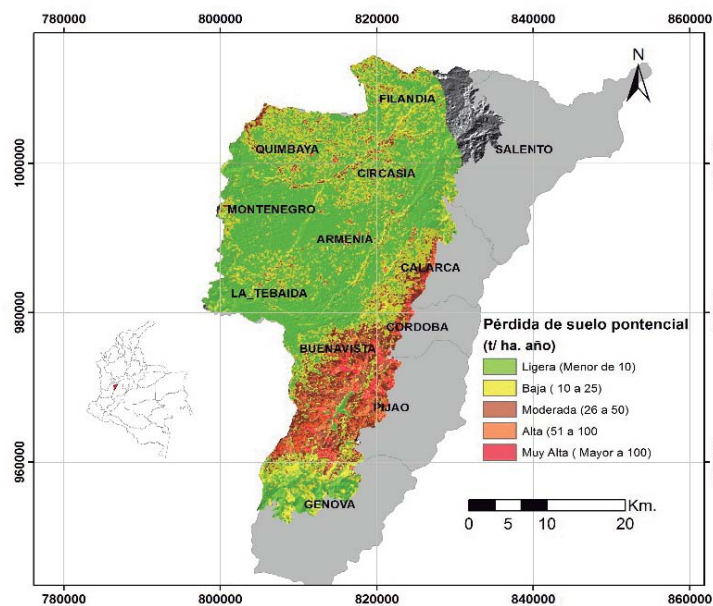


Figura 4. Mapa de Erosión Potencial. Pérdida de Suelo potencial en el departamento del Quindío

Conclusiones

El factor de erodabilidad más alta y que cubre mayor área de estudios se presenta en los municipios de Buenavista y Pijao, con valores de 0.0041 a 0.0077 t/ha/MJ⁻¹.mm⁻¹.ha⁻¹, lo cual coincide con los municipios que se clasifican con riesgo potencial Moderada, Alta y Muy Alta y compromete más del 90% y 83 % de su área en estudio, lo cual es un indicador para la toma de decisiones a la hora de implementar prácticas de conservación.

La ecuación de pérdida de suelo USLE/RUSLE es un herramienta que permite generar los mapas de riesgos de la erosión potencial y así identificar las posibles zonas que pueden llegar a presentar baja fertilidad y desde el tema ambiental la que genera mayores aporte de sedimentos.

El material parental, la erosividad y las pendientes jugaron un papel fundamental en las pérdidas de suelo, como se pudo observar en los municipios de Montenegro, Circasia, La Tebaida y Armenia, donde las pérdidas fueron clasificadas de Ligera a Baja con valores menores 25 t/ha⁻¹.año⁻¹, que correspondían a pendientes del 15 y 30 %.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Comité Departamental de Cafeteros de Quindío y a las disciplinas de suelos y agroclimatología de Cenicafé.

Literatura citada

1. Arnoldus, H. M. J., Boodt, M. D. & Gabriels, D. (1980). An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *Assessment of Erosion*, 127-132.
2. Barrios R., A.G. & Quiñonez, E. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo (r) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. *Rev. Forest.* 44 (1), pp 65-71.
3. Castillo, J. (2004). Variación de la erodabilidad y aplicación de la ecuación universal de pérdida de Suelo (USLE) en Los Andes Colombianos, (tesis de Doctorado) Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira.
4. Cocuyame R., R.A. & Salazar Q., D. (2015). Clasificación y zonificación de la susceptibilidad a erosión hídrica en la cuenca del río guabas con apoyo de herramientas geomáticas. (tesis de pregrado) Universidad del Valle, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática.
5. Desmet, P. J. J. & Govers, G. A. (1996). GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51 (5): 427-433.
6. ESRI. (2008). ArcGIS 9.3. Redlands, CA. USA.
7. Figueroa., Amante, A., Cortés, T. H., Pimentel, L. J., Osuna, C. E., Rodríguez, O. J. & Morales, F. F. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Colegio de Post-graduados, México.
8. Figueroa-Jáuregui, M. L.; Ibáñez-Castillo, L. A.; Arteaga-Ramírez, R.; Arellano-Monterrosas J. L. & Vázquez-Peña, M. (2011). Cambio de uso de suelo en la cuenca de san cristóbal de las casas, México.
9. Foster, G. R., Meyer, L. D. & Onstad, C. A. (1977) An erosion equation derived from basic erosion principles. *Trans. Am. Soc. Agric. Engrs*, 678-682.
10. Flores López, H. E., Martínez Menes, M.; Oropeza Mota, J. L.; Mejía Sáenz, E. & López Carrillo, R. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlan, Jalisco, México. *Terra* 21, 233-244.
11. Hincapié, E. & Rivera, H. (2003). Validación del factor erodabilidad en suelos de la unidad Chinchiná, Melanudads, mediante el uso de simulador de lluvias. *Cenicafé* 54 (1): 77-89.
12. Lince, L.A. & Castro, A.F. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío Colombia. *Cenicafé* 66 (1):25-31.
13. Montes-León, M. L.; Uribe-Alcantara, E. M. & García-Celis, E. (2011). Mapa Nacional de erosión potencial. *Tecnología y Ciencias del Agua. Vol. II* (1): 5-17.
14. Mccool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K. & Meyer, L. (1987). Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE* 30 (5): 1387-1396.
15. Pérez, S. (2001). Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica. (tesis Especialización). Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingenierías Físicoquímicas.
16. Quintana, M., Ortega, S., Fernández, M. & Criado, V. (2009). Libro SIG aprendiendo a manejar los SIG en la gestión ambiental: ejercicios. Madrid, España,
17. Ramírez, F.A., Hincapié, E., Sadeghian, S. & Pérez, U. (2007). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas. *Cenicafé* 58 (1):40- 52.
18. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies G.A. et al. (Coordinators). (1997) Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Uni-

- versal Soil Loss Equation (RUSLE). *USDA Agricultural Handbook No. 703*, 404 pp. Available at http://www.ars.usda.gov/SP2UserFiles/Place/64080530/RUSLE/AH_703.pdf
19. Renard, K. G.; Meyer, L. D. & Foster, G. R. (1989). Introduction and History. Revised Universal Soil Loss Equation, Chapter 1. USDA-ARS Tucson, Arizona.
 20. Rivera, H. & Gómez, A. (1991) Erosividad de las lluvias de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafé* 42 (2):37–52.
 21. Rivera, J. H., Lal, R., Amézquita, E., Mesa, O. & Chaves, B. (2010) Predicción de la erodabilidad en algunos suelos de ladera de la zona cafetera colombiana. *Cenicafé* 61 (4): 344-357
 22. Rodríguez, M.F., Florentino, A., Gallardo, J. & Antonio, R. (2004). Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España aplicando la metodología USLE. *Agronomía Tropical*. Vol. 54-4, 391-409.
 23. Sagredo, C. (2005). Metodología para evaluar la estabilidad de camellones. (tesis de pregrado), Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago de Chile.
 24. Shi, Z. H.; Cai, C. F.; Ding, S. W.; Wang, T. W. & Chow, T. L. (2004). Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the three gorge area of China. *Catena*. Vol. 55, 33-48.
 25. Velásquez, S. (2008). Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Coronado, Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.
 26. Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses - A Guide to Conservation Planning. Agriculture Handbook, n° .537, Department of Agriculture Science and Education administration, Washington, USA: U.S. Government Printing Office, Washington, DC.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: Julio 22 de 2016
Aceptado: Agosto 12 de 2016

Estimation of the transfer of vascular epiphytes, as a conservation strategy in the municipality of Aguazul, Casanare, Colombia.

Valoración de la transferencia de epífitas vasculares, como una estrategia de conservación en el municipio de Aguazul, Casanare, Colombia

Estimativa da transferência de epífitas vasculares, como estratégia de conservação no município de Aguazul, Casanare, Colômbia.

Javier Orozco Ávila¹, Argemiro Valencia Marín² & Jhon Fredy Betancur Pérez³

¹Ingeniero Agrónomo, Magister en Producción Vegetal y Mejoramiento. ²Ingeniero Forestal, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. ³Licenciado en Biología y Química, Especialista en Biología Molecular y Biotecnología, Doctor en Ciencias Agropecuarias.

¹Facultad de Ciencias Contables y Administrativas. ^{2,3}Facultad de Ciencias de la Salud. ^{1,2,3} Centro de Investigación en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (CIMAD). Universidad de Manizales. Manizales. Colombia.

¹ javierorozcoavila61@gmail.com, ² argemiroforest@hotmail.com, ³ jbetancur@umanizales.edu.co

Abstract

Epiphytes are plants that grow mainly attached to trunks, branches of trees and shrubs. This research was conducted in the municipality of Aguazul, Casanare, Colombia, in order to evaluate conservation strategies through the transfer and recovery of vascular epiphytes. The selected population was 119 individuals. The variables were number of leaves, number of flowers, number of fruits, mortality rate, herbivory and associated entomofauna. The information collected was analyzed using descriptive statistics. As a result, it was found that the Bromeliaceae Family had the highest leaf development in the three monitorings. Bromeliaceae and Cactaceae Families did not present flowering and Orchidaceae presented low flowering. Fruiting had a similar behavior for these three families. Cactaceae Family did not present mortality, Orchidaceae recorded 2.02%

and Bromeliaceae Family recorded 5.56% of mortality. As for herbivory, the orchid family filed a percentage of 0.06%; the Bromeliaceae Family reported 0.11%, while the cactus family did not record any kind. The entomofauna was found mainly in the Formicidae group for the three families, being the Cactaceae Family the one with a greater association, with 100%. According to the results, it is possible to move the vascular epiphytic species to new habitats, which makes it a viable alternative for revegetation of the affected area with conservation purposes.

Keywords: epiphytes, insect, conservation

Resumen

Las epífitas son plantas que crecen adheridas a los troncos y ramas de árboles y arbustos

principalmente. Esta investigación se realizó en el municipio de Aguazul, Casanare, Colombia, con el fin de evaluar estrategias de conservación mediante el traslado y rescate de epífitas vasculares. La población seleccionada fue de 119 individuos. Las variables evaluadas fueron: número de hojas, número de flores, número de frutos, porcentaje de mortalidad, herbivoría y entomofauna asociada. La información se analizó mediante estadística descriptiva. Como resultados se obtuvo que la familia Bromeliaceae presentó el mayor desarrollo foliar en los tres monitoreos. Las familias Bromeliaceae y Cactaceae no presentaron floración y en la familia Orchidaceae esta fue baja. La fructificación tuvo un comportamiento similar para las tres familias. La Familia Cactaceae no presentó mortalidad, la familia Orchidaceae registró un 2,02%, y la familia Bromeliaceae un 5,56%. En cuanto a herbivoría, la familia Orchidaceae presentó un porcentaje de 0,06%; la familia Bromeliaceae un 0,11%, mientras que la familia Cactaceae no registró ninguna especie. La entomofauna asociada se presentó principalmente en el orden Formicidae para las tres familias, siendo la familia Cactaceae la de mayor asociación con un 100%. Según los resultados es posible trasladar especies epífitas vasculares a nuevos hábitats naturales, por lo cual es una alternativa viable de revegetación del área afectada con fines de conservación.

Palabras clave: epífitas, entomofauna, conservación

Resumo

As epífitas são plantas que crescem nos troncos e galhos de árvores e arbustos. Esta pesquisa foi realizada na localidade de Aguazul, Casanare, Colômbia, com a finalidade de avaliar estratégias de conservação por meio de deslocamento e resgate de epífitas vasculares. A população selecionada foi de 119 indivíduos. As variáveis avaliadas foram: número de folhas, número de flores, número de frutos, porcentagem de mortalidade, herbívoros e insetos associados. A informação foi analisada por estatística descritiva. Como resultado foi obtido que a família Bromeliaceae mostrou maior desenvolvimento foliar nos três primeiros monitoramentos. As famílias Bromeliaceae e Cactaceae não apresentaram floração e a família Orchidaceae foi baixa. A frutificação teve um comportamento similar nas três famílias. A família Cactaceae não apresentou mortalidade, a família Orchidaceae mostrou 2,02% de mortalidade e a família Bromeliaceae 5,56%. No que referente a herbívoros, a família Orchidaceae mostrou porcentagem de 0,06%; a família Bromeliaceae de 0,11%, enquanto a família Cactaceae não mostrou nenhuma espécie. Os insetos associados foram identificados principalmente da ordem Formicidae para as três famílias, a família Cactaceae teve 100% de associação. Segundo esses resultados é possível deslocar espécies epífitas para hábitats naturais novos como alternativa viável de vegetação de áreas afetadas com fins de conservação.

Palavras-chave: epífitas, insetos associados, conservação.

Introduction

Colombia is classified within the group of the 14 countries hosting the highest rate of biodiversity on earth, called mega-diverse countries, sharing this category with Argentina, Bolivia, Brazil, China, Costa Rica, Ecuador, India, Indonesia, Kenya, Mexico, Peru, South Africa and Venezuela (Andrade, 2011). The state of current knowledge indicates that Colombia has 927 species, 264 genera and 72 families of mosses. In hepatics plants there are records of 840 species, 140 genera and 38 families, in lichens there are 1,515 species, 253 genera

and 73 families and in ferns and related plants there are 1,400 species, 115 genera and 32 families. The records of 26,500 species of flowering plants represent 12% of the vegetable wealth of the world (Rangel, 2005).

The Colombian Orinoco region, also called the Eastern Plains of Colombia, home of biodiversity wealth, has approximately 17 million hectares and contains three systems of land or landscapes: the foothills, alluvial plains and high plains. It belongs

to a macro system of global importance -tropical savanna-, whose topography allows agricultural mechanization and whose soils require careful handling. Its northern border is the state of Apure in Venezuela's southwestern border; south with the Guaviare River, west to the eastern highlands and east by the Orinoco River. The administrative division of the Eastern Plains includes the departments of Meta, Vichada, Arauca and Casanare (Rippstein et al, 2001).

In Colombia, the degree of threat for a species that is under extinction is estimated according to scientific criteria, especially those developed by the International Union for Conservation of Nature (IUCN). After rigorous studies, which take into account observations and data collected over many decades of research, experts elaborated listings in which the degree of threat for each species is studied they have estimated and formulated recommendations for conservation. This information, which is published in the series Red Book of endangered species of Colombia, serves as the technical basis of Resolution 383 of February 2010, issued by the Ministry of Environment, Housing and Territorial Development (MAVDT), "in which they declare the wild species that are threaten on national territory and other determinations are taken". Several species of epiphytes are registered in Resolution 383 of 2010 (MAVDT), which makes the study and conservation of this group of plants a priority objective (Fotosíntesis, 2012).

Epiphytes are plants that grow on other plants attached to the trunks and branches of trees and shrubs, reason why they are properly called epiphytes (Greek Epique means "on" and phyte, "plant"). The host or "phorophyte" on which epiphytes grow on is used only as a support without more damage than it can cause with its abundance of branches. Therefore, epiphytic parasitic plant differs from the latter in that the latter obtains water and nutrients from its host (Granados *et al*, 2003). In total it is estimated that there are about 25.000 species of vascular epiphytes worldwide,

which account for 5% of the total biomass of the ecosystem and have left behind the association with the land, using as support the treetops. They are mechanical parasites (Montana et al.,, 1997) and avoid the need to produce logs, stems and branches, as well as cells, organs and reinforced structures having the most plants. Epiphytism involves 10% of vascular plants, including a large number of ferns, Orchideaceae, Araceae Bromeliaceae, and to a lesser extent, Gesneriaceae, Piperaceae, Cactaceae, Ericaceae Melostomataceae families (Benzing, 1998).

Epiphytes play an important role in the dynamics of communities, by being stratified vertically from the trunks of the trees to the tops of the canopy, they offer a variety of niches and resources that are used by various groups of animals -ants, arthropods, amphibians, birds, etc.-, contributing to increase biodiversity in the communities where they are. Moreover, epiphytes accumulate large amounts of water from their leaves, providing an alternative pathway in the dynamics of this resource within the forest. In addition, the epiphytic's biomass established in the inner branches of trees, house high- essential nutrients such as phosphorus and nitrogen that are subsequently recycled, providing alternate routes to cycle nutrients and water dynamics (Ceja *et al*, 2008).

In accordance with the above, and given that Colombia has few investigations into the transfer of vascular epiphytes, as a strategy for biodiversity conservation, this research provided preliminary knowledge on the subject, through observational monitoring that allowed the evaluation of the development of vascular epiphytes a new habitat, as well as determine the association with this entomofauna on the site of transfer and compare the development of vascular epiphytes transferred to those present in the natural environment. Thus, this research provided information of great importance for future researches related to this area of knowledge in the country, as a strategy for conservation of an important component of the gene pool of the Colombian flora.

Materials and methods

Study location

The research was conducted at the site of the Danubio, el Triunfo path, municipality of Aguazul in the department of Casanare, which is located at coordinates 1.164.666 m E; 1.075.259 m N. At an altitude of 650 m.a.s.l. (meters above sea level) and is located in the lower foothills of the eastern slope of the Eastern Cordillera, 22 km in a straight line from the town of Yopal and 13 km from the town of Aguazul (Sinchi, 2007). The reserve and specifically the area where the replanting of epiphytes was made to rescue the “Gas transportation line Cusiana - Cupiagua”, is framed in vicinity of the river Unete and occupies a strip of gallery forest, which correspond to mature and secondary forests found on the banks of rivers whose main function is protection, they have a minimum width of 20 m and maximum of 60 m.

Determination of the population targeted for the study

The area where the rescue of epiphytes was performed and where the hydrocarbon industry conducts its work, is called right of way which corresponds to a strip of public or private land where pipelines cross that carry oil, its by-products or gas. On this site an inventory of epiphytes was performed, identifying 4822 individuals distributed in 62 species. Of this population, 1190 individuals were rescued, selecting and monitoring for planting 10% of this population, i.e. 119 individuals. 90% of the remaining population underwent maintenance and were monitored every six months in order to report the percentage of mortality to the Directorate of Forests and Ecosystems of the Ministry of Environment and Sustainable Development (MADS). The selection was made taking into account the phytosanitary status, vegetative state and representativeness.

Selection criteria for transfer area

For the final relocation process, it was established as a premise that the hosts were to be the same initial species or that the host will present the same characteristics of surface crust -preferably rough-, hosts presenting its bark resins were discarded. On the Danube reserve, 150 phorophytes

greater than 10 cm in diameter at breast height (DBH) and with heights ranging between 4 and 35 m were located and geo-referenced, of which 138 trees were selected for the sowing. To select the site of transplantation, the following requirements had to be met: have enough forest coverage to install epiphyte culture and encourage natural reproduction. Having the presence of native epiphytes would prove the possibilities of epiphytic establishment in the area; also have the presence of bodies of water throughout the year in the immediate vicinity for constant watering of plants. Have accessibility to the site allowing the transfer of epiphytes in a vehicle and its subsequent monitoring and finally have an appropriate enclosure to prevent the entry of animals.

Recollection and planting of selected individuals

For the final relocation of epiphytic an area of 0.43 ha within the premises of the Danube was marked, at the time of planting an anti-stress treatment was performed to the rescued plants, immersing them in a solution of water with hormones at a dose of 40 drops of hormone (Hormonagro ANA) in 20 L of water, for five minutes. Later, 3 to 4 individuals were placed per selected phorophyte with anteriority. To quiches and orchids (Bromeliaceae and Orchidaceae families) and overall vascular epiphytes, individuals were collected with the fullest possible root system, without being detached from the substrate -branch, stem, root-. The moorings were done with power net tapes and were assigned the same seeding registration number for identification. A record of planting, in which data of brightness level, kind of phorophyte where it was planted, part of phorophyte where it was planted, georeferencing were reported within the reserve and registration number. In order to ensure proper growth of individuals, once located in the phorophytes, need- lework permanent maintenance will be performed during each month, such as irrigation, fertilization and pruning, these efforts made it possible to reduce to a minimum the mortality rate of the material rescued and planted vegetable.

Monitoring and analysis of information

Trimestral monitoring, in which information on the

number of sheets submitted by the individual, number of flowers, number of fruits, mortality rate, herbivory and the associated entomofauna. Epiphytes are not ideal elements for quantitative ecological studies, partly because their habitat and way of distribution are not appropriate for many of the methods that are commonly used for data analysis of terrestrial species. The ideal comparison can be made between the same species and sizes of phorophytes in different locations by the close relationship that occur between species of epiphytes and their phorophytes (Sugden & Robins, 1979). Another reason why no statistical methods are enhanced in this study is the small number of individuals transferred. In work carried out by Nieder *et al.* (2000), only those species tested with more than a dozen individuals had statistically significant results. However, analysis of the variables was performed using descriptive statistics, which allowed us to know the behavior of individuals moved into their new environment.

Results and Discussion

Overall representativeness

In the inventory made in the right of way, a total of 4822 individuals corresponding to 62 species were identified, of which the most representativeness is given by the *Tillandsia fasciculata* Sw. and *Tillandsia recurvata* (L.)L. species, which belonging to the Bromeliaceae family, followed by *Encyclia cordigera* (HB & K) Dressler of Orchidaceae, *Monstera pruceana* (Schott Engl) and Araceae Family. As for the distribution of the corresponding translocated species in the Danube reservation, the Orchidaceae family is the best represented, with 27 relevant species and 14 genera, which is 83% of the transferred samples, followed by Bromeliaceae family that represented 15%, with seven species of which six belong to the *Tillandsia* and *Aechmea* genera. Finally, the Cactaceae family had the lowest representation with only 1.68% (Figure 1).

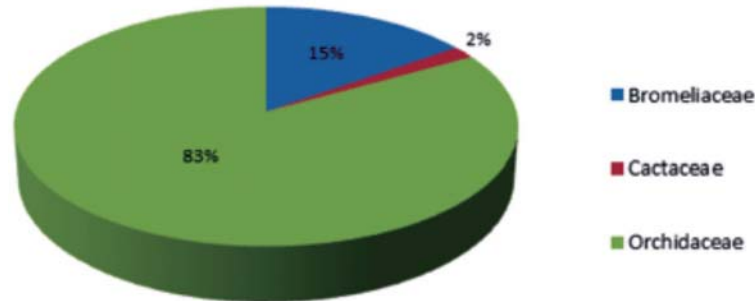


Figure 1. Porcentual distribution of the genere of species transplanted to the Danubio reserve.

The 138 phorophytes in which the rescued epiphytic plants were planted, were distributed in 23 families, where trees from the Fabaceae, Melastomataceae, Rubiaceae and Anacardiaceae families accounted for the largest number of trees for this planting (Figure 2). This is because at the time of the inventory of epiphytes and phorophytes in the area of right of way, the preference for phorophytes

was recorded and distribution within themselves, considering the level of exposure to light in addition to the location shaft, outer, middle or inner cup. Which allowed simulating natural conditions in relocation sites providing a better adaptation of the individuals. Other representative families were Bixaceae and Fabaceae families, the latter being the most diverse in terms of species.

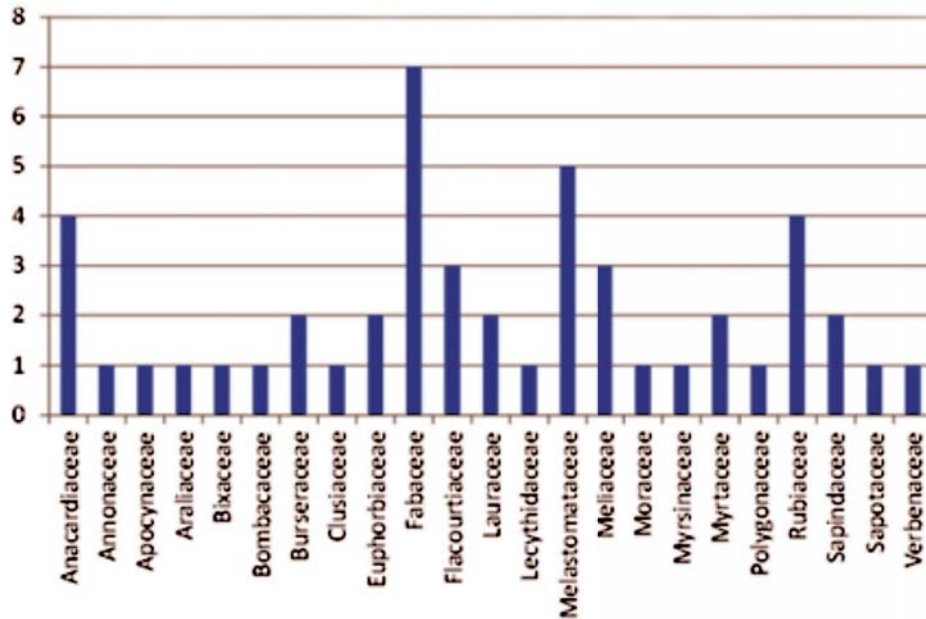


Figure 2. Number of phorophyte species distributed by families.

Significantly, according to Benzing (2008) in a defined geographical area, an epiphyte or a group of epiphytes show a strong preference for a particular group of trees, as they benefit the most their establishment and further development. Under this approach the affinity or specificity of some epiphytic species on some host species that were found at the time of the corresponding inventories are explained.

Analysis of the variables

1 Number of leaves

Bromeliaceae family was the one with the greater leaf development in the three monitorings, increasing in the second and third values of 35.06 and 36.33%, respectively, between species with the largest leaves are *Tillandsia juncea*, *Tillandsia rhomboidea* and *Tillandsia balbisiana* and species with fewer leaves were *Aechmea* sp., Orchidaceae family presented fewer leaves to 7.6% in the first survey, 10.97% in the second and 11.35% in the third, with an increase in the second and third, *Dichaea brachypoda*, *Epidendrum strobiliferum*, *bolivarensis* *Maxilaria*, *Caularthron bicornutum* and

Dimerandra emarginata were found to be the species with increased formation of leaves; the *Catase-tum callosum*, *Caularthron bicornutum*, *Galeandra cf.*, *Minax*, *Polystachya foliosa*, *Scaphyglottis livid*, *Trichocentrum carthagenense* and *Epidendrum coronatum* presented low number of leaves and in some cases no training. Keep in mind that some of these species, like *Epidendrum coronatum* and *Trichocentrum carthagenense*, have large succulent leaves, which may interfere with the growth rate. Regarding *Epiphyllum phyllanthus* species of the Cactaceae family, they presented a gradual increase in the three monitoring with values of 6, 7.5 and 9.5% respectively.

It is important to note that in the groups with the largest number of epiphytic species such as orchids and bromeliads, it is common to find several adaptations to drought as succulence, tanks for water uptake, photosynthesis CAM, waterproof cuticle and trichomes specialized for foliar absorption of water and nutrients (Benzing, 2008).

Considering that evaluated epiphytes come from a transplant and habitat change, during the first

monitoring adapting to their new environment is still fresh and may generate stress that influence the vegetative development, that is associated with the month of April when such monitoring is conducted, less rainfall was presented so individuals could be exposed to water stress, which can not only cause short-term damage in the physiology of epiphytic, but it can also force these to lose leaves and thus the ability to make photosynthesis.

2 Flowering

In the Bromeliaceae and Cactaceae family no blooming was recorded for any of the three monitoring; in the case of the Orchidaceae family flowering was low, showing a slight increase in the third monitoring with a value of 0.25%, among the species that bloomed during the study the following were found: *Encyclia cordigera* (1), *Encyclia leucantha* (1) *Trizeuxis falcata* (6), *Catasetum sp.2* (1), *Pleurothallis sp.1* (1) and *Polystachya foliosa* (11). This flowering behavior could be related to climatic fluctuations and stress generated at the time of transplantation, even apart from the times of flowering, which in some cases can take years. Shakai (2001) mentions that the timing of phenological events has a major impact on survival and reproductive success of the plant. This frequency is determined not only by abiotic conditions such as temperature and humidity, but also by biotic factors including interspecific competition, interactions with other organisms, such as herbivores, pollinators, seed dispersers and interspecific competition for various means.

The Orchidaceae family, with the highest percentage of flowering, which reflects the behavior of the majority of the tropical orchids that bloom in late winter, a time in which this monitoring was carried out and in which an increase in rainfall was recorded in the study area. Precipitation is a crucial parameter with a strong influence on the dynamics of epiphytic communities. Rain is the factor that best correlated with species richness of epiphytes (Küper *et al.* 2004; Cardelús *et al.* 2006) compared to other factors such as temperature, light intensity in the canopy and richness of trees hosts.

3 Fructification

In a similar way to the flowering behavior fruiting was evaluated for the three families. In the case of Bromeliaceae and Cactaceae family no fruiting occurred in any of the three monitoring conducted, as for the Orchidaceae family fruiting was low with values of 0.15% for the first monitoring, 0.20% in the second this being the highest and finally the third monitoring percentage decrease of 0.02% was recorded. Among the species with fruiting during the evaluation period are *Dichaea brachypoda* (1), *Pleurothallis sp.1* (5), *Prostecchia chacaoensis* (3), *Scaphyglottis bidentata* (5), *Scaphyglottis livid* (3), *Encyclia cordigera* (3), *Maxilaria bolivarensis* (15) and *Polystachya sp.1* (2). As has been discussed, abiotic conditions drastically influence on vegetative and productive cycles for epiphytes. The month of July when the second monitoring took place, was one of the wettest, the temperature dropped slightly and the relative humidity was higher than in the first and third monitoring, these conditions could favor fruiting in these species, and conditions of stress to which they were subjected could have influenced the biochemical and physiological responses of plants reflected in a survival mechanism, however the low fruiting could be a result of low bloom, as habitat change involves a change also in the entomofauna and therefore pollination.

4 Mortality

Mortality rates of individuals for each of the evaluated families were low during the three evaluations performed. Cactaceae family did not show any mortality, meanwhile Orchidaceae family presented only 2.02% at the end of the study, and Bromeliaceae family recorded 5.56% of mortality during the three constant monitoring. This would indicate that short-term vascular epiphytes species transferred to their new habitat, morphophysiological presented adequate adaptation and that the enablement of the area was indicated, and the selection of phorophytes in which planting was performed. Significantly, lower mortality rates can indicate high affinity presented by the epiphytes with the architectural features, leaves and bark of the host. The affinity between some species epiphytes and their phorophytes can induce anatomical changes such as the creation of phellem

reaction and phenolic substances, such as chemical and diseases establishing root growth promoter of epiphytic barrier (Aguilar, *et al.* 2007; Flores *et al.* 2014). Similarly, the dynamics of bark phorophytes species exerts an influence on the population dynamics of epiphytes in nature (Zotz & Schmidt, 2006; Winkler, Hülber & Hietz, 2009).

5 Herbivory

Herbivore related percentages were low, Orchidaceae presented in the first monitoring one percentage of 1.01%, 0.09% in the second and 0.06% in the third evaluation. Species presented herbivory during the three evaluations were *Scaphyglottis bidentata* (1), *Aechmea sp* (1), *Camaridium chroleucum* (1), *Catasetum callosum* (4), *Catasetum sp* (1), *Encyclia cordigera* (1), *Epidendrum strobiliferum* (1), *Maxillaria bolivarensis* (1), *Polystachya sp.1* (1), *Prostechea sp* (1), *Trichocentrum carthagenense* (1), *Caularthron bicornutum* (1), *Dichaea brachypoda* (1) and *Prostechea afragans* (1). As for the Bromeliaceae family only presented, in the second monitoring, herbivory of 0.11% for the *Tillandsia rhomboidea species*, while the cactus family did not record any kind. Although herbivory rates are not high in the first monitoring for Orchidaceae, it should be noted that this was presented in April when rainfall was low and relatively higher temperature (25.78°C) was present for the months of July and October when the remaining monitorings were performed. This fluctuation in climate may influence the behavior of some insects causing damage in certain species. Another important factor that could influence the low rates of herbivory is given by the strategy plants have developed to defend this interaction, while herbivores have developed different strategies to counter the plant defense. On the other hand, herbivory can benefit plant communities, since by reducing the number of individuals of a species the establishment of other species in the community would be permitted. Making herbivores, in some cases, promoters of biodiversity (Vega & Peters 2003; Hernández, 2005).

6 Association of epiphytes with insects

The entomofauna was present throughout the assessments for the three families of epiphytes (Figure 3). The values varied for each of the monitorings, in

the first, the Orchidaceae family filed a percentage of plants with insects of 35.4%, followed by Bromeliaceae family with 11.1%, whereas individuals belonging the Cactaceae family did not present associativity. In the second monitoring the percentage of plants with insect for the Orchidaceae family went down from 35.4 to 21, 21%, contrary to the percentages related to individuals in the Bromeliaceae and Cactaceae families whose values increased to 38.89% and 50% respectively. For the third monitoring the percentage of plants with insects increased again for the Orchidaceae family with a value of 50%, as for the Bromeliaceae and Cactaceae families they show an increase in their rates with values of 50 and 100% respectively.

Fluctuations in insect populations associated with epiphytes along the monitoring plants can be linked as mentioned above with environmental factors, such as temperature, relative humidity and photoperiod factors. Temperature being one of the most important because they are poikilothermic organisms. In the analysis of the above variables, climatic variations has been emphasized in the study area, both in precipitation and temperature, relative humidity and sunshine, this abiotic factor could have influenced not only the development and growth epiphytic communities, also in populations of insect fauna associated with these plants. Moreover, the structure of the vegetation directly influences the varying input light, which increases or decreases the maximum temperature and this creates considerable differences in the study sites (Azotla & Aguayo 1998; Becerril, 2012)

The entomofauna was represented by insects of order Formicidae, Chelicerata, Dermaptera, Blattaria, Hemiptera, Diptera, Orthoptera and Lepidoptera larvae. The highest percentages of plants associated with insects for the three families occurred in the Formicidae order, during the three evaluations, the Cactaceae family with greater association of 100%, Bromeliaceae 18.52% and Orchidaceae 16,49%. Individuals from Bromeliaceae and Orchidaceae families had a greater association with Chelicerata order with percentages of 9.26% and 10.43% respectively; these epiphyte families also had higher

presence of insects of the order Dermaptera with values of 5.56 and 1.68%. The Blattaria order was represented by 50% of individuals in the Cactaceae family associated with these insects, in a lesser percentile an association with the Bromeliaceae family is presented with 5.56%. As for the Hemiptera order the highest percentage of plants was related to the Bromeliaceae family with 11.11%. Bromeliaceae and

Orchidaceae families presented association with insects of the Diptera order with a percentage of 11.11 and 7.4% respectively. The order with less representativeness was Orthoptera with only 2.35% of plants in the orchid family. Finally only Bromeliaceae and Orchidaceae families presented association with Lepidoptera larvae with a percentage of 5.56 and 5.05% respectively.

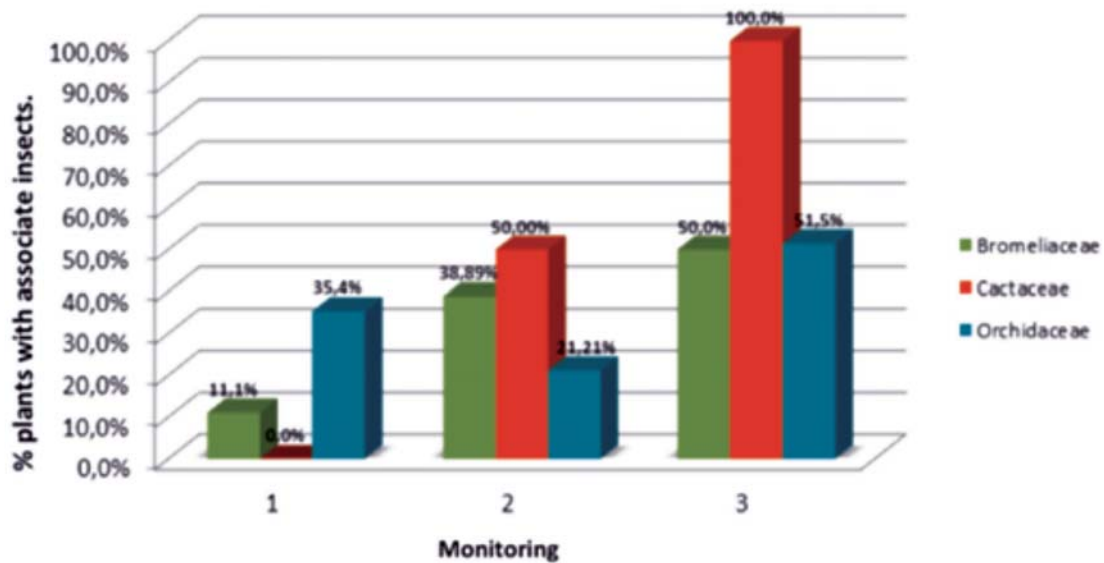


Figure 3. Percentage of plants with associated insects in the three monitoring.

Individuals corresponding to the Cactaceae and Bromeliaceae families had a higher association with insect fauna in the study area. It should be noted that the form of potted bromeliads hold water reserves throughout the year, so they can support complex food chains involving several types of organisms, such as bacteria, algae, mosses, other vascular plants, protozoa, fungi, invertebrates and some vertebrates. Bromeliads benefit from this biotic association because they can absorb nutrients from the decomposition of accumulated litter or death of other organisms, while the associated animals use the plant as a refuge and the accumulated detritus serves as a source of nutrients (Ospina *et al.*, 2004; Liria, 2007).

According to the above, the percentages of plants associated with insects during the three evaluations

can be explained, since the microclimate provided by some epiphytes, the variations of abiotic factors and phenological condition, they influence directly in these biotic relations. On the other hand, these associations with the entomofauna added to the low mortality demonstrate a suitable adjustment of the epiphyte species moved to the area of study.

Conclusions and Recommendations

According to the results obtained in this research, it is possible to move vascular epiphytes species to new natural habitats, as long as the species of tree hosts with which the epiphytes have major affinity are determined, allowing a suitable growth and development of the plants.

The low mortality rates indicate that it is possible to ensure the survival of vascular epiphytic species once they are transferred to a new habitat. The survival of vascular epiphytes evidence that the enabling of the study area was the right choice, and the selection of phorophytes, where planting was done, presented adequate morphophysiological adaptation.

Associations between the transferred epiphytes and insect fauna of the study area show a positive interaction, which translates into an appropriate adaptability of such plants to a new habitat. The three families evaluated Cactaceae, Bromeliaceae and Orchidaceae had a high association with Formicidae order, confirming the relationship between epiphytes and formicids, mainly cactáceas.

The low rates of herbivory could be related to the transfer of epiphytic species and habitat change as interactions with macro and micro is relatively recent. Weather conditions in the area are determining the physiological, phenological behavior and interaction with the insect fauna of the area of transfer.

In cases where the construction of a pipeline or a mega-project is unavoidable, inventory and recovery of threatened species becomes potentially irreplaceable, if it is desired to document and preserve ex situ or in situ biota for the future. Thus, the transfer of epiphytic species becomes an alternative re-vegetation of the affected area for conservation to reduce the environmental impact in the area.

It is necessary to conduct research related to the transfer of epiphytic species as an alternative re-vegetation, in order to thoroughly to study the interactions that may occur in the new habitat to which they are subjected, as well as vegetative, phenological and reproductive development of these species.

Cited Literature

1. Aguilar-Rodríguez, S., Terrazas, T., Aguirre-León, E. & Huidobro-Salas, M. E. (2007). Modificaciones en la corteza de *Prosopis laevigata* por el establecimiento de *Tillandsia recurvata*. *Bol Soc Bot*, 81, 27-35.
2. Andrade, G. I. (2011). Río Protegido. Nuevo concepto para la gestión de conservación de sistemas fluviales en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 14(1), 65.
3. Azotla, M. V. & Aguayo, A. G. (1998). Mating behavior of the Mexican mouse opossum (*Marmosa canescens*) in Cuixmala, Jalisco, Mexico. *Revista Mexicana De Mastozoología (Nueva Época)*, 3(1), 146-147.
4. Becerril-González, M. (2012). Importancia de la fauna asociada a una planta epífita (*Tillandsia polystachia*) en un bosque tropical Caducifolio de México. *Revista de Divulgación de la Ciencia*, 9.
5. Benzing, D. H. (1998). Vulnerabilities of tropical forests to climate change: the significance of resident epiphytes. In *Potential impacts of climate change on tropical forest ecosystems* (pp. 379-400). Springer Netherlands.
6. Benzing, D. H. (2008). *Vascular epiphytes: general biology and related biota*. Cambridge University Press.
7. Cardelus, C. L., Colwell, R. K. & Watkins, J. E. (2006). Vascular epiphyte distribution patterns: explaining the mid-elevation richness peak. *Journal of Ecology*, 94(1), 144-156.
8. Ceja, J., Espejo, A., García, J., López, A. R., Mendoza, A., & Pérez, B. (2008). Las plantas epífitas, su diversidad e importancia. *Ciencias*, 91(091).
9. Flores-Palacios, A., Barbosa-Duchateau, C. L., Valencia-Díaz, S., Capistrán-Barradas, A. & García-Franco, J. G. (2014). Direct and indirect effects of *Tillandsia recurvata* on *Prosopis laevigata* in the Chihuahua desert scrubland of San Luis Potosí, Mexico. *Journal of Arid Environments*, 104, 88-95.
10. Fotosíntesis. (2012). *Proyecto Oleoducto Bicentenario. Guía ilustrada de las epífitas del tramo Araguaey-Banadía*. Bogotá-Colombia, 116. p. ISBN 978-958-57536-1-7.
11. Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F., Hernández-García, M. Á. & Sánchez-González, A. (2003). Ecología de las plantas epífitas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, diciembre, Vol. 9, Núm. 2, pp. 101-111.
12. Hernández - Ramírez, A. *Conceptos de depredación y herbivoría*. Centro de Investigaciones Tropicales Universidad Veracruzana.
13. Küper, W., Kreft, H., Nieder, J., Köster, N. & Barthlott, W. (2004). Large-scale diversity patterns of vascular epiphytes in Neotropical montane rain forests. *Journal of Biogeography*, 31(9), 1477-1487.

14. Liria, J. (2007). Fauna fitotelmata en las bromelias *Aechmea fendleri* André y *Hohenbergia stellata* Schult del Parque Nacional San Esteban, Venezuela. *Revista peruana de biología*, 14(1), 33-38.
15. Montana, C., Dirzo, R., & Flores, A. (1997). Structural parasitism of an epiphytic bromeliad upon *Cercidium praecox* in an intertropical semiarid ecosystem. *Biotropica*, 29(4), 517-521.
16. Nieder, J., Engwald, S., Klawun, M. & Barthlott, W. (2000). Spatial Distribution of Vascular Epiphytes (including Hemiepiphytes) in a Lowland Amazonian Rain Forest (Surumoni Crane Plot) of Southern Venezuela 1. *Biotropica*, 32(3), 385-396.
17. Ospina-Bautista, F., Estévez-Varón, J. V., Betancur, J., & Realpe-Rebolledo, E. (2004). Estructura y Composición de la comunidad de macro invertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque Alto Andino Colombiano. *Acta Zoológica Mexicana*, 20(1), 153-166.
18. Rangel, J. O. (2005). La biodiversidad de Colombia. Palimpsestos: *Revista de la Facultad de Ciencias Humanas*, (5).
19. Rippstein, G., Escobar, G. & Motta, F. M. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia (No. 322). CIAT.
20. Shakai, S. (2001). Phenological diversity in tropical forests. *Population Ecology*, 43(1), 77-86.
21. Sinchi, I., IDEAM, IGAC, IAvH, INVEMAR, & IIAP. (2007). Ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia.
22. Sugden, A. M. & Robins, R. J. (1979). Aspects of the ecology of vascular epiphytes in Colombian cloud forests, I. The distribution of the epiphytic flora. *Biotropica*, 173-188.
23. Vega, E. & Peters, E. (2003). Conceptos generales sobre el disturbio y sus efectos en los ecosistemas. Conservación de ecosistemas templados de montaña de México. O. Sánchez, E. Vega, E. Peters, O. Monroy-Vilchis (eds). Diplomado en Conservación, manejo y aprovechamiento de vida silvestre. Instituto Nacional de Ecología/SEMARNAT. México, 137-151.
24. Winkler, M., Hülber, K. & Hietz, P. (2009). Population dynamics of epiphytic orchids in a metapopulation context. *Annals of Botany*, 104(5), 995-1004.
25. Zotz, G. & Schmidt, G. (2006). Population decline in the epiphytic orchid *Aspasia principissa*. *Biological Conservation*, 129(1), 82-90.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: julio 20 de 2016
Aceptado: agosto 12 de 2016

Liberación ruminal de cuatro fuentes inorgánicas de magnesio por medio de la técnica in situ en ganado holstein en trópico alto

Release ruminal of four inorganic sources of magnesium through the technique in situ in holstein cattle in high tropic

libertação no rúmen de quatro fontes inorgânicas de magnésio pela técnica in situ em Holsteins elevados trópicos

Wilmer Alfonso Cuervo Vivas¹ & Héctor Jairo Correa Cardona²

¹Zootecnista, Especialista en Nutrición Animal, Magister en Ciencias Agrarias. ²Zootecnista, Magister en Nutrición Animal, Doctor en Ciencias de la Producción Animal.

¹Especialización Nutrición Animal Sostenible. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA, Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Bogotá, Colombia. ²Docente Asociado Departamento de Producción Animal, Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Colombia.

¹wilmer.cuervo@unad.edu.co, ²hcorreac@unal.edu.co

Resumen

El Magnesio, abundante en praderas pastoreadas por bovinos de leche, actúa como un cofactor en reacciones enzimáticas vitales para las principales vías metabólicas y presenta desaparición ruminal elevada (87%) aunque se desconoce su liberación en fuentes inorgánicas. Con el objetivo de evaluar su solubilización ruminal se incubaron cuatro fuentes inorgánicas (óxido de Mg (MgO), sulfato de Mg (MgSO₄), cloruro de Mg (MgCl₂) y carbonato de Mg (MgCO₃)) determinando su desaparición de la materia seca (DMS) en 3 vacas Holstein (vacías, no lactantes) canuladas al rumen (620 ± 14 kg y 7 años) en el municipio de Santa Elena, Antioquia, Colombia (2538 msnm; bH – MB; 16°C) consumiendo kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst Ex Chiov) Morrone) (Chemisquy et al 2010). Por triplicado se incubaron 0,5 g de cada fuente en bolsas

de nailon con dos tamaños de poro (25 y 50µm), en el rumen de las vacas para evaluar DMS en tres tiempos (0, 12 y 24h). Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x3x4 (2 tamaños de poro, 3 tiempos de incubación y 4 fuentes minerales) y prueba de Tukey para significancia estadística de las diferencias. La incubación ruminal debe realizarse con tamaño de poro no superior a 50µm, siendo MgCl₂ y MgSO₄ mas solubles en rumen, mientras que óxidos y carbonatos presentan solubilidad baja o nula dentro de las primeras 24 horas, lo cual puede dar luces para su utilización como suplemento mineral dentro de la dieta solida o agua de bebida del ganado lechero.

Palabras claves: holstein, líquido ruminal, tamaño de poro, kikuyo, ANKOM, BRIONI.

Abstract

Magnesium, abundant in grasslands grazed by cattle of milk, acts as a cofactor in enzymatic reactions vital to major metabolic pathways and presents disappearance ruminal high (87%) Although his release from inorganic sources is unknown. With the objective of evaluating their solubilization ruminal incubated four inorganic sources (Mg oxide (MgO), Mg sulfate (MgSO₄), Mg chloride (MgCl₂) and Mg carbonate (MgCO₃)) determining its disappearance of dry matter (DMS) in 3 Holstein cows (empty, not nursing) placed in cannula to the rumen (620 ± 14 kg and 7 years) in the municipality of Santa Elena, Antioquia, Colombia (2538 masl; bH - MB; 16 °C) eating Kikuyu (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst Ex Chiov) Morrone) (Chemisquy et al 2010). 0.5 g of each source in two pore sizes nylon bags and incubated in triplicate (25 and 50µm), in the rumen of cows to evaluate DMS in three times (0, 12, and 24 h). A design was used in the randomized complete block factorial 2 x 3 x 4 (2 pore sizes), 3 days of incubation and 4 mineral sources and Tukey test for statistical significance of the differences. The ruminal incubation must be done with no more than 50µm, MgCl₂ and MgSO₄ pore size more soluble in rumen, while oxides and carbonates are low or no solubility within 24 hours, which can give light for use as a mineral supplement within the solid diet or dairy cattle drinking water.

Key-words: Holstein, rumen fluid, pore size, kikuyu, ANKOM, BRIONI.

Resumo

O Mg que é abundante em áreas com gado de leite, atua como cofator em reações enzimáticas importantes para as principais rotas metabólicas e apresenta ausência ruminal elevada (87%) muito embora seja desconhecida sua liberação nas fontes inorgânicas. Com o objetivo de avaliar a solubilização ruminal, foram usadas quatro fontes inorgânicas (óxido de Mg (MgO), sulfato de Mg (MgSO₄), cloreto de Mg (MgCl₂) y carboneto de Mg (MgCO₃)) determinando sua ausência da matéria seca (DMS) em 3 vacas Holstein (vazias, não lactantes) acanuladas ao rumem (620 ± 14 kg e 7 anos) na localidade de Santa Elena, Antioquia, Colombia (2538 por cima do nível do mar; bH - MB; 16°C) consumindo kikuyo (*Cenchrus clandestinus* (Hoechst Ex Chiov) Morrone) (Chemisquy et al 2010). Foram incubadas por triplicata 0,5 g de cada fonte em sacos de náilon com poros de 2 tamanhos (25 e 50µm) no rumem, para avaliar a DMS em três tempos (0, 12 e 24h). Foi utilizado o delineamento de blocos ao acaso com fatorial 2x3x4 (2 tamanhos de poro, 3 tempos de incubação e 4 fontes minerais) e o teste de Tukey para significância estatística. A incubação ruminal deve ser realizada com tamanho de poro inferior a 50 µm, MgCl₂ y MgSO₄ foram mais solúveis no rumem enquanto óxidos e carbonetos mostram solubilidade baixa ou nula dentro das primeiras 24 horas, o que favorece seu uso como suplemento mineral na dieta sólida ou água de bebedouro do gado de leite.

Palavras-chave: holstein, líquido ruminal, tamanho do poro, kikuyo, ANKOM, BRIONI.

Introducción

El ion metálico Magnesio Mg es un catión intracelular que actúa como coenzima para reacciones enzimáticas vitales en las principales vías del metabolismo energético (NRC, 2001), su deficiencia es poco común en la mayoría de los animales domésticos (Aikawa, 1981, Underwood & Suttle, 1999). No obstante, cuando se ha observado bajas sensibles en el contenido de Mg en la dieta, se ha relacionado con el exceso de fósforo y potasio en la misma (Schonewille *et al*, 2004), observándose

en animales malformaciones en las extremidades e incluso mortalidades, particularmente en especies como la aviar y la porcina (Atteh & Leeson, 1983; 1986).

El bajo contenido de Mg (Tomas & Potter, 1976; Field & Munro, 1977) y el excesivo contenido de potasio en forrajes altamente fertilizados (Schonewille *et al.*, 1998; 2007) se ha relacionado con altas incidencias de hipomagnesemia. Los forrajes

tropicales presentan un contenido de Mg que oscila entre 0,36% para gramíneas y 0,28 % para leguminosas (Minson, 1990), mientras que los alimentos concentrados (energéticos y proteicos) presentan un mayor contenido de Mg que los forrajes (Adediji & Suttle, 1999). El bajo contenido de Mg en forrajes y en cereales, menos frecuente, ha sido identificado como la principal causa de hipomagnesemia (Tomas & Potter, 1976; Field & Munro, 1977). Este tipo de desórdenes metabólicos, sin embargo, son comunes en zonas templadas y específicamente con rebrotes de forraje en la primavera, mientras que en regiones tropicales son poco frecuentes (Littledike *et al.*, 1983). El elevado contenido de K en forrajes típicos del trópico alto como el kikuyo -hasta 5,12% de la MS- (Correa *et al.*, 2008) están relacionados con disfunciones en el metabolismo del Ca y del Mg (Goff, 2006).

En los sistemas de producción ganadero, el principal, y en ocasiones el único, suplemento dietario es la sal mineralizada (MADR, 2010) y en ganado en periodo parto, se han utilizado mezclas de macrominerales en forma de sales aniónicas combinándolas con suplementación de Ca y Mg para la prevención de la hipocalcemia e hipomagnesemia (Underwood & Suttle, 1999, Drackley *et al.*, 2005). El contenido de Mg de estas fuentes inorgánicas va desde 5% en el fosfato de Mg hasta un 52% en la magnesita calcinada (FEDNA 2012). En este sentido, sales de Mg como el carbonato, cloruro, óxido y sulfato han presentado valores de biodisponibilidad altos (McDowell 1996), su absorción oscila entre 30 y 70% (NRC 2001) y su solubilidad en medios acuosos depende en gran medida al tipo de sal (Horn & Smith 1978., NIST 2011).

La técnica *In situ* busca incubar diferentes materiales -nutricionales y no nutricionales- en bovinos, ovinos y caprinos fistulados y equipados con una cánula. El rumen es el principal sitio de absorción del Mg en rumiantes adultos (Martens & Blume, 1986; Care *et al.*, 1984; Greene *et al.*, 1983, Church 1988), sin embargo, un pH bajo (Cook *et al.* 1994) sumado a consumo de forrajes con altos contenidos de K (Fontenot *et al.*, 1973, Tomas & Potter 1976) pueden disminuir su solubilidad. Se han

reportado, valores iniciales de liberación ruminal de Mg en pasto kikuyo superiores al 70% (Correa *et al.* 2008) y hasta 93% a las 72 horas de incubación en rumen (Moseley & Griffiths 1984, Van Eys & Reid 1987) No obstante, Se desconocen trabajos en los que se haya estimado la liberación ruminal del Mg a partir de fuentes Inorgánicas incubadas como sales puras y utilizando la técnica *In situ*. Por ello el objetivo de este trabajo fue evaluar la desaparición de cuatro fuentes inorgánicas de Mg por medio de la técnica *in situ* utilizando dos tamaños de poro en la bolsa de nailon.

Materiales y métodos

Localización

Este estudio se realizó en la hacienda Paysandú de la Universidad Nacional de Colombia, ubicada en el municipio de Santa Elena, Antioquia, Colombia, a 2538 msnm y que pertenece a la zona de vida de Bosque húmedo montano bajo (bH – MB) (Holdridge, 1996).

Animales experimentales

Para la investigación se incluyeron tres vacas de la raza Holstein, adultas no lactantes, canuladas al rumen, con un peso y edad promedio de 620 ± 14 kg y 7 años, respectivamente. Dichos animales fueron alimentados a voluntad con pasto kikuyo. Las vacas experimentales fueron trasladadas desde el potrero hacia un corral de manejo a las 07:00 am, donde se realizó la extracción de la tapa de la cánula y la incubación de los sustratos a evaluar.

Preparación de las muestras

Se utilizaron 0,5 g de cada una de las fuentes inorgánicas a evaluar; óxido de Mg (MgO), sulfato de Mg (MgSO₄), cloruro de Mg (MgCl₂) y carbonato de Mg (MgCO₃) cuyas solubilidades se presentan en la Tabla 1. Dichos compuestos fueron empacados en dos tipos de bolsas de nailon: bolsas FN^o 57 Ankom® con un tamaño de poro de 25 µm y dimensiones de 5 x 4 cm (para obtener un área efectiva por bolsa de 37 cm² compuestas por un material tipo poliéster, y bolsas elaboradas con tela nacional (Brioni®-Lafayette) con un tamaño de poro de

50µm, implicando un menor costo. Este proceso buscaba evaluar la factibilidad de incluir bolsas de tela nacional en lugar de las bolsas Ankom® que son importadas y tienen un alto costo para los experimentos relacionados con la técnica *in situ*.

Tabla 1. Solubilidad en medios acuosos de las fuentes minerales evaluadas

Fuente Mineral	Solubilidad en agua (g/100mL)
MgO	0,0086*
MgCO ₃	10,6**
MgSO ₄	35,5***
MgCl ₂	54,2****

Adaptado de * De Baat 1926. ** NIST standard reference database 2011. *** National Library of Medicine - Medical Subject Headings 2006. **** Royal Society of chemistry - Chemspider. MAFF 1992

Para realizar la determinación del tamaño de partícula de cada fuente mineral, tomando fotografías con zoom óptico de 20X a las partículas de las cuatro fuentes minerales a evaluar, ubicándolas sobre una hoja de papel milimetrado con divisiones de 500 y 1000µm (ver Anexos), esto con la finalidad de establecer su relación con la DMS en cada tamaño del poro de las bolsas evaluadas. Se tomaron 11 observaciones de cada una de las fuentes minerales evaluadas y se obtuvo el promedio y la desviación estándar del tamaño de cada una de las fuentes. En cada una las bolsas evaluadas (Ankom® y tela nacional), se depositaron 0,5 g de muestra (Goering & Van Soest, 1970) lo que corresponde a una relación tamaño de la muestra/superficie de la bolsa de 13.5 mg/cm² basado en las recomendaciones publicadas por Van Hellen & Ellis (1977) para la técnica *in situ*. Posteriormente las bolsas fueron cerradas por medio de un sellador eléctrico (Orskov *et al.*, 1980) y cada una de las bolsas fueron almacenadas en una malla de plástico de acuerdo al tiempo de incubación correspondiente y finalmente las mallas fueron atadas por medio de una cuerda de cáñamo a mosquetones fijados a una cadena de hierro cromado de 1.0 m de longitud.

Incubación de las bolsas

Justo antes de realizar la incubación ruminal, se enjuagaron las bolsas en agua a 39°C durante 2

minutos (Giraldo *et al.*, 2007), posteriormente se incubaron las bolsas en el rumen. Al momento de la incubación, se determinó el pH ruminal mediante un potenciómetro portátil (WTW 315I®). Se introdujo una bolsa por cada tiempo -0, 12, 24-, por cada tamaño de poro, por cada fuente mineral evaluada y en cada animal, de tal forma que se introdujeron un total de 24 bolsas por animal.

Las sales contenidas en las bolsas fueron introducidas al rumen al mismo tiempo en las tres vacas comenzando con el tiempo más largo -24 horas- prosiguiendo con las bolsas de los demás tiempos -12 y 0 h-, de tal manera que al final de la incubación, todas las bolsas fueron extraídas al mismo tiempo y se lavaron simultáneamente con agua de grifo hasta que el agua salió limpia (Nocek, 1988).

Determinación de la desaparición de la materia seca (DMS)

Con el objetivo de determinar la liberación o desaparición de la MS, las bolsas fueron secadas en una estufa de aire forzado a 65°C durante 48 horas, luego de lo cual fueron pesadas. A dicho peso se le restó el peso de la bolsa vacía para calcular la cantidad de muestra desaparecida en cada tiempo de incubación. De esta forma la DMS parcial fue calculada como se muestra en la ecuación 1:

$$\%DMS = (((Pv+Pm)-Pbr)/Pm) * 100 \quad (1)$$

Dónde:

Pm = Peso muestra (g)

Pv = Peso bolsa vacía (g)

Pbr = Peso Bolsa y el residuo

Análisis estadísticos

Se estableció el promedio y la desviación estándar del tamaño de partícula de cada fuente de Mg. Los datos de DMS fueron analizados bajo un diseño en bloques completos al azar con un arreglo factorial 2x3X4, donde los factores analizados fueron respectivamente, el tamaño del poro, el tiempo de incubación y las fuentes minerales. Las 3 vacas

representaron los bloques, de acuerdo al modelo mostrado en la ecuación 2:

$$Y_{ijk} = \mu + T_i + B_j + e_{ijk} \quad (2)$$

Donde;

Y_{ijk} es la desaparición de la materia seca; μ es la media poblacional;

T_i es el efecto del i -ésimo tratamiento experimental

B_j es el efecto del j -ésimo bloque

e_{ijk} es el error experimental.

Para el análisis de los datos se utilizó el PROC GLM del programa estadístico SAS (2002) donde la variable respuesta a analizar fue la desaparición de la materia seca (DMS) expresada en %. Los resultados obtenidos fueron expresados como la Media \pm Error Estándar. Cuando se hallaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de LS-MEANS para el análisis de la diferencia entre los promedios. Adicionalmente se adelantó un análisis de correlación entre la solubilidad de cada fuente

y la DMS a la 24 h mediante el PROC CORR del programa estadístico SAS (2002).

Resultados y discusión

El pH promedio para los animales experimentales, medido antes de la introducción de las bolsas fue de $6,99 \pm 0,021$. Dicho pH es compatible al hallado para animales pastando praderas de forrajes tropicales fibrosos y sin suplementación alimenticia (García & Kalscheur 2006, Correa *et al.*, 2011, Duque 2013). Dicho valor (Ver Tabla 1) es importante puesto que este se asocia con la solubilidad de las fuentes inorgánicas de minerales para rumiantes (Jessee *et al.*, 1980).

El tamaño promedio de partícula de las cuatro fuentes de Mg fue superior a 700 μm (Tabla 2), lo que puede indicar que la desaparición de las muestras de las bolsas de nailon no fue causada por el tamaño de partícula de la fuente mineral si no, por su solubilidad en el medio ruminal, toda vez que los tamaños de poro evaluados fueron 25 y 50 μm .

Tabla 2. Tamaño de partícula para las fuentes minerales evaluadas.

Partícula Muestreada*	MgO	MgCO ₃	MgSO ₄	MgCl ₂
	μm			
PROMEDIO	963,6	743,6	992,7	700,0
D. E.	317,9	240,7	459,0	280,2

* Los promedios provienen del muestreo de 11 partículas (ver Anexos)

No se detectó efecto de la triple interacción entre la fuente, el tamaño del poro y el tiempo evaluado ($p=0,92$), como lo muestra la Tabla 3. Con respecto a la interacción de primer nivel, solamente se observó efecto de la interacción entre el tiempo de incubación en rumen y la fuente mineral ($p<0,0001$). Resultados similares son reportados por Correa (2007)

en los que el Mg contenido en forraje kikuyo presentó una alta desaparición ruminal a las 0 horas (70%) y a las 24 horas alcanza una desaparición superior al 90%. Igualmente, Gojon *et al.* (1998) observaron que los principales macro minerales (Ca, P, Mg, K) presentaban a las 24 horas una desaparición ruminal *in situ* de aproximadamente 85%.

Tabla 3. Efecto del tamaño del poro de la bolsa, fuente mineral y tiempo de incubación sobre la desaparición de materia seca DMS de las fuentes minerales evaluadas.

EFFECTO EVALUADO	gl	Suma cuadrado tipo III	Cuadrado Medio Calculado	F	p
Tamaño de poro	1	0,1586	0,1586	10,55	0,0022
Tiempo de Incubación	2	0,1821	0,09107	6,05	0,0046
Animal	2	0,022	0,0113	0,75	0,4775
Fuente Mineral	3	12,8286	4,2762	284,26	<0,0001
Poros x Tiempo	2	0,0062	0,0031	0,21	0,8142
Poros x Fuente	3	0,1133	0,0377	2,51	0,0703
Tiempo x Fuente	6	0,9584	0,1597	10,62	<0,0001
Poros x Tiempo x Fuente	6	0,0288	0,0048	0,32	0,9233

No se detectaron efectos significativos del tiempo de incubación sobre el nivel de DMS para MgCl₂ ni para MgSO₄ (p=0,74) (Figura 1). Estas fuentes fueron estadísticamente superiores en todas las mediciones a las otras dos fuentes evaluadas (p<0,0001). La descripción técnica del cloruro y el sulfato de Mg demuestra que

estas dos fuentes presentaban los mayores valores de solubilidad (54,2 y 35,5 g/100mL, respectivamente) (Royal Society of Chemistry). La DMS del MgCO₃ y del MgO fue baja en el tiempo 0, pero luego se incrementó la del MgCO₃ mientras que la del MgO presentó valores negativos, indicando el atrapamiento de contenido ruminal.

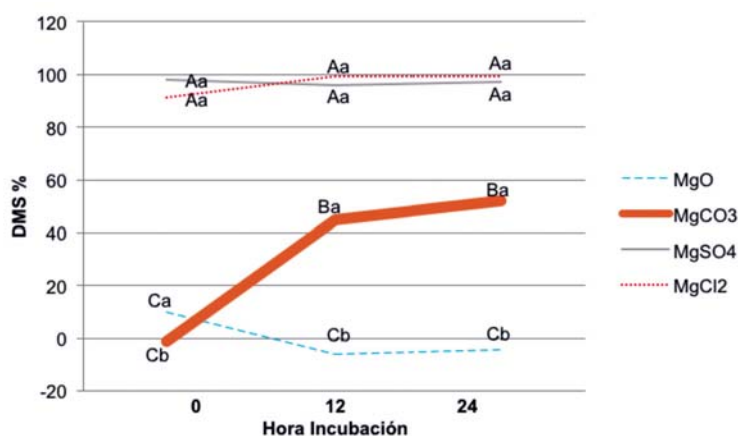


Figura 1. Efecto de la fuente mineral y el tiempo de incubación sobre la DMS (%)

Literales diferentes en mayúsculas indican diferencias en el tiempo
Literales diferentes en minúsculas indican diferencias dentro de la fuente

Un análisis de correlación entre la solubilidad en medio acuoso y la DMS a las 24 h (r=0,93 y r=0,90 para las bolsas de 50 y 25 μm, respectivamente), mostró que existe una asociación alta entre estos dos parámetros y que, por lo tanto, a mayor solubilidad de la fuente, mayor es la desaparición de la muestra de las bolsas de nailon. Se ha descrito que tanto el tamaño de partícula (Quin *et al.*, 1938) como

la solubilidad (Ortega & Carranco, 1993) como factores que afectan la desaparición ruminal de la materia prima incubada en la bolsa de nylon. Es posible que bajo las condiciones del presente estudio el efecto ejercido por el tamaño de partícula sobre la desaparición ruminal sea dependiente de una característica inherente a la materia prima evaluada como la solubilidad.

Efecto del tamaño del poro

Los tamaños de poro utilizados en este estudio se encuentran dentro del rango recomendado por un gran número de autores (Van Hellen & Ellis, 1977; Uden & Van Soest 1984; Lindberg, 1984; Nocek, 1985, 1988; Vanhatalo, 1995; Hvelplund & Weisbjerg 2000). No obstante que el tamaño de las partículas de las fuentes evaluadas (Tabla 2) superó varias veces el tamaño de poro más grande evaluado en las bolsas (50 μm), dicho factor afectó la DMS de las fuentes, siendo estadísticamente menor con las bolsas de 25 μm (51,7%) ($p < 0,002$) que con las de 50 μm (61,1%). En este sentido cabe anotar que una proporción de dichas partículas (ver anexos) tenían un tamaño inferior y suficiente para escapar por los poros y además, con la motilidad y la humedad ruminal, muchas partículas redujeron su tamaño, lo cual facilitó su salida. Otros autores también han reportado una reducción en la digestibilidad de las muestras incubadas cuando el tamaño del poro de la bolsa es menor. Lindberg & Knutsson (1981) obtuvieron disminuciones significativas en la DMS y desaparición de N al trabajar con tamaños de poro de 80 a 120 μm . En este mismo trabajo, los autores observaron que al utilizar poros más pequeños (10 - 36 μm) y aumentar el tiempo de remojo previo a la incubación (6 horas con agitación) se disminuía la DMS.

Giraldo *et al.* (2007) por el contrario, observaron una mayor digestibilidad *in vitro* de la materia seca en kikuyo determinada por la técnica del Daisy ^{II}® con tamaño de poro de 20 μm que con la técnica *in situ* con bolsas de nailon cuyo tamaño de poro era de 50 μm . Este último resultado, sin embargo, pudo deberse a la diferencia en la relación tamaño de muestra: área efectiva de la bolsa, que habría favorecido las muestras evaluadas por la técnica Daisy ^{II}®, como lo indica los trabajos de Goering & Van Soest, 1970. Así mismo, Van Hellen & Ellis (1977) han relacionado la DMS con la relación entre el tamaño de la muestra ingresada en cada bolsa y el área de cada cara de la bolsa incubada.

Efecto del tiempo y la fuente sobre la DMS (%)

Hubo una disminución significativa de MgO en la DMS luego de la hora 0 de incubación ($p < 0,03$),

presentando incluso valores negativos a las 12 y 24 horas, que no fueron diferentes entre sí ($p = 0,79$). En este sentido, Jesse *et al.* (1981) trabajaron con tamaños de partícula del MgO similar al del presente estudio, obteniendo un bajo nivel de DMS (<50%), así mismo, Morgan (2011) experimentando con vacas lecheras fistuladas que presentaron un pH ruminal similar al del presente estudio (6,5) observaron una DMS baja incubando MgO durante 96 horas. Por ello al tener las condiciones experimentales bajo las cuales se trabajaron en el presente experimento se podría esperar una baja DMS ruminal.

Los valores bajos de DMS se correspondieron con los menores valores de solubilidad reportados para esta fuente (0,0086g/100mL) (De Baat, 1926). Los valores negativos hallados, podrían responder al ingreso de materiales propios del rumen a través de los poros, que aunado a la baja solubilidad del MgO, generaron valores negativos de DMS. Nocek (1988) indica que al trabajar con materiales con tamaño de partícula grande (>90 μm) la DMS disminuía significativamente. Igualmente, Ceballos *et al.* (2008) indican como opción para evitar datos negativos de DMS incubar una bolsa vacía por cada tratamiento, no obstante, en el presente estudio no se realizó este procedimiento por no estar recomendado por la mayoría de la literatura relacionada con la técnica *in situ*.

El MgO utilizado en el presente estudio tenía un tamaño de partícula de $963,9 \pm 317\mu\text{m}$ y las bolsas utilizadas tenían tamaños de poro de 25 y 50 μm de tal manera que es posible que debido a este impedimento físico la mayoría de las partículas de MgO no hayan abandonado las bolsas de nailon. El tamaño de partícula del MgO utilizado en el presente estudio (MgO técnico) fue superior al reportado previamente por Schaefer *et al.* (1982) y por Xin *et al.* (1988) quienes trabajaron con MgO comercial con tamaño de partícula de 0.09 y 3.7 μm , respectivamente. Es posible que la diferencia entre este estudio y los citados previamente es que en dichos estudios el MgO hizo parte de una mezcla de alimentos que fue incubada en el rumen.

En reportes previos, Xin *et al.* (1988) midieron la solubilidad de MgO al introducir este compuesto con diferentes tamaños de partícula en soluciones acidas de HCl (pH entre 1,3 y 5,6) revelando que a menor tamaño de partícula (237 μ) y a menor pH (1,3) la solubilidad de esta sal fue mayor. Numerosos autores han reportado para ganado Holstein en pastoreo sin suplementación valores de pH ruminal de entre 6,0 y 6,79 (Holden *et al.*, 1994; Reis & Combs 2000, Bargo *et al.*, 2002, García & Kalscheur 2006, Correa *et al.*, 2012, Duque 2013), lo que coincide con los hallados en este trabajo.

La utilización de este tipo de materiales (específicamente MgO) se restringe a la adición del producto comercial a dietas total o parcialmente mezcladas como tal, sin ningún proceso de molido o de filtrado (Emery *et al.*, 1965; Askew *et al.*, 1971; Schaefer *et al.*, 1982). En el presente experimento el MgO no fue molido o filtrado pudiendo presentar partículas que por su tamaño, no lograron solubilizarse en el rumen. Aún a las 24 horas post-incubación se registraron DMS negativas, por lo que se puede sospechar inicialmente, que el óxido ligo partículas del medio ruminal. A este respecto, las reglas de solubilidad coinciden en afirmar que los óxidos de un ion metálico no son solubles en agua y tienden a la formación de hidróxidos (Morgan, 2011)

Lough *et al.* (1990), por su parte, encontraron que la solubilidad del MgO es alta a las 24 horas en líquido ruminal cuyo pH inicial osciló entre 6,95 y 6,99. Dicha solubilidad fue de 91,8% sugiriendo que aún a pH altos, esta fuente puede ser muy soluble. Es necesario tener en cuenta, sin embargo, que la solubilidad calculada por estos autores, fue la proporción de Mg hallado en la fase líquida frente a la fase sólida, luego de centrifugar el líquido ruminal. Lamentablemente en este estudio no se reportó el tamaño de partícula con la que se trabajó por lo que no se puede hacer ninguna inferencia al respecto. Los resultados de estos autores sin embargo contradicen la baja solubilidad reportada para el MgO (*Reference Tables for Physical Setting - Chemistry* 2011.) sugiriendo que se pueda tratar más de un error metodológico, que de una solubilidad real.

Otros autores, han reportado valores de digestibilidad negativos para Mg (Emanuelle *et al.*, 1991) y para el Ca (Emanuelle *et al.*, 1991, Correa *et al.*, 2008), asociados a la quelación de estos iones divalentes con la materia orgánica del rumen, particularmente con la fibra. Es probable, entonces, que parte del valor negativo de la DMS observada para esta fuente, fuera debido a la quelación de componentes orgánicos por parte del MgO.

El MgO ha sido utilizado en las dietas de vacas lecheras para prevenir problemas de acidosis ruminal (Erdman *et al.*, 1980, 1982; Schaefer *et al.*, 1981) gracias a su capacidad de consumir iones H⁺ y por tanto, de formación de enlaces con otros compuestos. No obstante, de acuerdo a los resultados observados en el presente estudio, se puede esperar que la solubilización de este material a nivel ruminal sea menor que las demás fuentes evaluadas ya sea por su baja solubilidad en medios acuosos, por el pH presente en el rumen o por el impedimento físico del tamaño del poro utilizado.

Por el contrario, en el MgCO₃ se observó un aumento significativo (p<0,001) y constante en la DMS a partir del tiempo 0 de incubación hasta las 24 horas. La DMS a las 24 h hallada en esta fuente puede estar relacionada con su naturaleza química, ya que al ser una sal anhidra presenta una solubilidad muy superior que la del MgO.

De acuerdo a los valores reportados en la Tabla 2, la solubilidad de este carbonato sería 1200 veces superior a la del óxido. Sin embargo, todas las formas de MgCO₃ son poco solubles en condiciones neutras y básicas e incrementan su solubilidad en medios que tienden a la acidez (Patnaik & Pradyot 2003). En este sentido Scandolo *et al.* (2007) observaron una disminución constante del pH ruminal a lo largo del día en vacas lecheras. De esta forma, la DMS del MgCO₃ registrada en el presente experimento siguió el comportamiento esperado, toda vez que aumentó a lo largo del día -las bolsas fueron incubadas a las 08:00- es decir la DMS aumentó a medida que disminuye el pH ruminal coincidiendo con las observaciones realizadas por dichos autores. Bajo las condiciones de pH

del ambiente ruminal de las vacas experimentales trabajadas en este ensayo, era de esperarse una baja solubilidad, aunque mayor que la del MgO, tal y como se encontró.

Efecto del tamaño de partícula de las fuentes evaluadas

El tamaño de partícula del $MgCO_3$ utilizado en el experimento fue de $740 \mu m$, menor al del MgO; a pesar de esto, la consistencia del carbonato era tal que al entrar en contacto con una solución acuosa, producía una masa de disolución lenta lo que pudo disminuir la liberación inicial del material a través de los poros. No obstante, no se observaron valores negativos de DMS y por el contrario este parámetro aumentó significativamente hasta alcanzar aproximadamente un 50% de DMS a las 24 horas de incubación.

El $MgSO_4$ y el $MgCl_2$ presentaron los valores más altos de DMS sin que hubiese diferencias entre ellos durante los tres periodos de incubación ruminal. Esto puede ser debido a la mayor solubilidad de estas dos fuentes comparadas con la del MgO y la del $MgCO_3$ (Tabla 2). La diferencia en la solubilidad entre estas dos fuentes (35,5 y 54,2 g/100 mL para el $MgSO_4$ y el $MgCl_2$, respectivamente), no influyó en la DMS en ninguno de los tiempos de incubación debido a que la cantidad necesaria para precipitarse (17750 y 27100 g en 50 L de líquido ruminal), es mucho mayor que la que se incubó en las bolsas experimentales (1,5 g en 50 L de líquido ruminal).

Dentro de las fuentes evaluadas, el $MgSO_4$ presentó el mayor tamaño de partícula ($992 \mu m$ ver anexos), no obstante, al ser un compuesto altamente higroscópico (Hutjens, 1991), incluso a temperatura ambiente, la absorción de agua por parte del material, disminuía notablemente el tamaño de las partículas que lo componían, facilitando su liberación a través de los poros.

El $MgSO_4$ se ha utilizado rutinariamente para corregir deficiencias de magnesio en cultivos de algunas hortalizas y cereales (Peña *et al.*, 2007), como tranquilizante en cerdos (Panella-Rivera *et al.*, 2009), en ratones para evitar daños renales (Masuyama *et al.*, 1995) y en vacas lecheras con problemas de

hipomagnesemia (Wittwer *et al.*, 1995). En el caso específico de vacas lecheras algunos autores (Capen & Rosol, 1989; Hoffsis *et al.*, 1989; Xin *et al.*, 1989; Contreras, *et al.*, 1992) han afirmado que el suministro oral de $MgSO_4$ funciona en el tratamiento de vacas con hipomagnesemia, aumentando los niveles séricos del mineral.

En el presente experimento se utilizó $MgCl_2$ de grado técnico -con textura y granulometría diferentes al comercial-, que presentó el menor tamaño de partícula de todas las fuentes evaluadas ($700 \mu m$, Tabla 2). Esta característica, sumada al hecho de que este material fuera higroscópico, hizo que su liberación y sobre todo su solubilización fueran más rápidas que en las demás fuentes minerales evaluadas.

En un estudio de cinética de liberación de pasto Kikuyo (Correa, 2007) trabajando con una metodología similar, se observó que la liberación ruminal del Mg presente en el forraje era inicialmente rápida, 70 - 80% en las primeras dos horas, para aumentar hasta las 24 horas sin que mostrará un incremento adicional durante las siguientes 48 horas de incubación, un patrón de comportamiento similar al observado con el $MgSO_4$ y el $MgCl_2$, en el presente estudio aunque de menor magnitud. Sin embargo, la solubilidad del Mg contenido en sales puras es más extensa y rápida que la reportada en el Mg contenido en forrajes, teniendo en cuenta que la naturaleza inorgánica de las sales puras influye en la solubilidad. Cole (2000) por otro lado, observó luego de 30 minutos del consumo de forrajes tiernos y concentrados, un incremento significativo de la concentración ruminal de Mg.

Normalmente la concentración de Mg en el fluido ruminal puede cambiar rápidamente a lo largo del día, dependiendo del suministro dietario del mineral (Scandolo *et al.*, 2007). Por ello, al contar con una liberación rápida y alta de Mg en el rumen como sucede con el $MgCl_2$ y el $MgSO_4$, se puede esperar que su función como estimulante en la actividad microbiana (Galbraith *et al.*, 1971; Russell & Dombrowski, 1980), bufferizante (Rauch *et al.*, 2012; Erdman *et al.*, 1982, 1988; Xin *et al.*, 1989) y como cofactor en la actividad de algunas enzimas (Faixová & Faix,

2002; Faixová *et al.*, 2006) sea rápida luego de su consumo y que no se mantenga en el tiempo.

Como se pudo establecer, las fuentes de Mg evaluadas en este trabajo presentaron patrones de DMS diferentes indicando que su papel en el suministro de este mineral es igualmente distinto y que, por lo tanto, una mezcla de estas fuentes podría tener un efecto más positivo sobre el crecimiento microbiano y el cumplimiento de las necesidades del animal hospedero que una sola fuente de lenta, media o alta disponibilidad. Este sería un enfoque similar al que se ha propuesto para carbohidratos y proteínas en la elaboración de suplementos para rumiantes (Rotger *et al.*, 2006; Cole & Todd 2007; Hall & Huntington, 2007). Bajo este enfoque y haciendo parte de una mezcla en la que también estén presentes carbohidratos con diferente capacidad de fermentación, los cambios en el pH, ocasionados por la degradación de los carbohidratos y las proteínas podrían favorecer tanto la liberación del Mg de estas fuentes como su absorción ruminal.

Conclusiones

La desaparición de la materia seca fue afectada por el tamaño del poro y por la interacción entre el tiempo de incubación y la fuente de Mg evaluada (Ver Tabla 2). A pesar de que el tamaño de partícula de todas las fuentes inorgánicas fue mucho mayor al de los tamaños de poro evaluados, la DMS de las muestras de las bolsas de nailon no fue afectada por el tamaño de partícula si no, por el tamaño del poro de las bolsas y por la solubilidad de la fuente en el medio ruminal.

La DMS registrada en las bolsas de 25µm fue inferior a la observada en las de 50 µm siendo un efecto esperado y reportado previamente en la literatura. Para algunas fuentes minerales se observó alta variabilidad en el tamaño de partícula, de tal manera que una proporción de partículas con tamaño inferior pudieron escapar por los poros y otras redujeron su tamaño por efecto de la motilidad y la humedad ruminal. La relación entre la cantidad de muestra y el área efectiva de la bolsa fue exactamente la misma en las bolsas Brioni® y las ANKOM®.

El MgO presentó la menor DMS a las 24 horas, registrando incluso valores negativos que estarían asociados con el tamaño de partícula, el pH ruminal de los animales experimentales y el bajo nivel de solubilidad en medio acuoso de esta sal. De igual forma, las propiedades inherentes de los óxidos de metales divalentes y su relación con la posible formación de quelatos, pudo influenciar la DMS con valores negativos.

La consistencia del MgCO₃, el nivel medio de solubilidad y el pH ruminal causaron que esta fuente mineral haya alcanzado una DMS final menor a 50%.

La DMS en todos los tiempos evaluados para el MgCl₂ y el MgSO₄ fue similar. No obstante, la DMS de estas dos fuentes fue superior a las demás sales de Mg durante los tres tiempos de incubación. Es posible que el lavado previo con agua de grifo y la naturaleza higroscópica de estas dos fuentes, hayan generado un valor de DMS superior en el primer tiempo de incubación.

La utilización de MgCl₂ o de MgSO₄ como fuentes inorgánicas en dietas para rumiantes garantiza una alta y rápida liberación de Mg debido a la mayor solubilidad de estas sales y por tanto, mayor disponibilidad para los microorganismos y la mucosa ruminal. Sin embargo, a nivel práctico es probable que la mezcla de fuentes que presenten un patrón acelerado de desaparición ruminal, que pueda ser más apropiada para cubrir las necesidades de las poblaciones microbianas y del animal hospedero.

Agradecimientos

Los autores agradecen al zootecnista Santiago Jaramillo de la Universidad Nacional sede Medellín, al estudiante de Maestría César Orrego y a la Ingeniera Carol Lizzeth Martínez por su colaboración en el trabajo de campo, la toma de datos y el procesamiento de las muestras. Al laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín por su colaboración con las instalaciones y los equipos necesarios para el desarrollo de este experimento. Al centro de producción de Paysandú, en especial a Neftalí Ortiz por el apoyo logístico y la colaboración con los animales experimentales.

Literatura Citada

1. Adediji, O. & Suttle, N.F. (1999). Influence of diet type, potassium and animal species on the absorption of magnesium by ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society* 58, 31A.
2. Aikawa, J. K. (1981). Magnesium. Its biological significance. CRC Press, Boca Raton, FL.
3. Askew, E., Benson, J., Thomas, J. & Emery, R. (1971). Metabolism of Fatty Acids by Mammary Glands of Cows Fed Normal, Restricted Roughage, or Magnesium Oxide Supplemented Rations. *Journal of Dairy Science*, Volume 54, Issue 6, June 1971, Pages 854–862
4. Atteh, J. O. & Leeson, S. (1983). Influence of increasing dietary calcium and magnesium content of the drinking water on performance and bone and plasma minerals of broiler chickens. *Poultry Sci* 62:869
5. Atteh, J. O. & Leeson, S. (1986). Influence of increasing dietary calcium and magnesium levels on performance mineral metabolism and egg mineral content of laying hens. *Poultry Sci* 64:1261–1268.
6. Bargo, F., Muller, L. D., Delahoy, J. E. & Cassidy, T. W. (2002) Performance of high producing cows with tree different feeding systems combining pasture or total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 85(11): 2948-2963. [http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(02\)74381-6/pdf](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(02)74381-6/pdf).
7. Capen, C. & Rosol, T. (1989). Calcium-regulating hormones and diseases of abnormal mineral metabolism. En KANEKO JJ. *Clinical biochemistry of domestic animals* 4th ed., Academic Press., San Diego, USA.
8. Care, A. Brown, R. & Farrar, A. (1984). Magnesium absorption from the digestive tract of sheep. July 1, 1984 *Experimental Physiology*, 69, 577-587.
9. Ceballos, A. Noguera, R., Bolívar, D. & Posada, S. (2008). Comparación de las técnicas *in situ* de los sacos de nylon e *in vitro* (DaisyII) para estimar la cinética de degradación de alimentos para rumiantes. *Livestock Research for Rural Development* 20 (7).
10. Chemisquy, M. A. *et al.* (2010). Phylogenetic studies favour the unification of Pennisetum, Cenchrus and Odonatelytrum (Poaceae): a combined nuclear, plastid and morphological analysis, and nomenclatural combinations. *Cenchrus. Ann. Bot. (Oxford)* 106:107–130
11. Church, D. E. (1988). El rumiante, fisiología digestiva y nutrición. Editorial Acribia SA P, Cap. 8; 168-172, Cap. 3; 283
12. Cole, N. & Todd, R. (2007). Opportunities to enhance performance and efficiency through nutrient synchrony in concentrate-fed ruminants. *J Anim Sci April* vol. 86 no. 14 suppl E318-E333.
13. Cole, N. A. (2000). Changes in postprandial plasma and extracellular and ruminal fluid volumes in wethers fed or unfed for 72 hours. *J Anim Sci* 78, 216-223.
14. Cook, N., Nordlund, K. & Oetzal G. (2004). Environmental Influences on Claw Horn Lesions Associated with Laminitis and Subacute Ruminant Acidosis in Dairy Cows. *Journal of Dairy Science*, Volume 87, Supplement, July 2004, Pages E36–E46.
15. Contreras, P. Wittwer, F. & Ferrando, A. (1992). Control de un brote de tetania hipomagnesémica en una lechería mediante el empleo de una suplementación mineral magnesémica. *Arch. Med. Vet.* 24: 93-98.
16. Correa, H. J. (2007). Cinética de la liberación ruminal de macrominerales en pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) cosechado a dos edades de rebrote. *Livestock Research for Rural Development*. Volume 18, Article # 31
17. Correa, H.J, Pabón, M. & Carulla, J.E. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): I - Composición química y digestibilidad ruminal y posruminal *Livestock Research for Rural Development* 20 (4).
18. Correa, H., Rojas, H. Ceron, J. Pabon, M. & Carulla, J. (2011). MUN: herramienta para mejorar el contenido de proteína en la leche. VII seminario Competitividad en carne y leche, Cooperativa Colanta.
19. De Baat, W.C. (1926). *Recl. Trav. Chim. Pays-Bas*, Vol 45, pp 237.
20. Drackley, J. K., Dann, H. M., Douglas, G. N., Janovick, N. A., Litherland, N. B., Underwood, J. P. & Loores & J. J. (2005). Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders. *Ital. J. Anim. Sci.* 4:323-344.
21. Duque, M. (2013). Efecto de la suplementación con ácidos grasos protegidos ricos en n-3 y n-6 sobre los parámetros productivos, reproductivos y balance energético en vacas holstein. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10495/1637>
22. Emanuele, S. M., Staples, C. R. & Wilcox, C. J. (1991). Extent and site of mineral release from six forage species incubated in mobile dacron bags. *Journal of Animal Science*. 69: 801. <http://jas.fass.org/cgi/reprint/69/2/801>
23. Emery, S., Brown, L. & Bell, J. (1965). Correlation of Milk Fat with Dietary and Metabolic Factors in Cows Fed Restricted-Roughage Rations Supplemented with Magnesium Oxide or Sodium Bicarbonate. *Journal of Dairy Science*, Volume 48, Issue 12, December. Pages 1647–1651.
24. Erdman, R. (1980). Dietary Buffering Requirements of the Lactating Dairy Cow: A Review. *J Dairy Sci* 71: 3246–3266.
25. Erdman, R.A., Hemken, R.W. & Bull, L.S. (1982). Dietary Sodium Bicarbonate and Magnesium Oxide for Early Postpartum Lactating Dairy Cows: Effects on Production, Acid-Base Metabolism, and Digestion. *J Dairy Sci* 65:712-731
26. Erdman, R. A., R. L. Botts, R. W. Hemken, & Bull, L. S. (1980). Effect of dietary sodium bicarbonate and magnesium oxide on production and physiology in early lactation. *J. Dairy Sci.* 63:923– 930.
27. Faixová, Z. & Faix, F. (2002). Influence of metal ions on ruminal enzyme activities *Acta vet. Brno*, 71: 451–455
28. Faixová, Zita, Faix, Maková, Váczi & Prošbová. (2006). Effect of divalent ions on ruminal enzyme activities in sheep. *Acta veterinaria (beograd)*, V56(1), 17-23.

29. FEDNA. (2012). Fundación española para el desarrollo de la nutrición animal. Recuperado de: <http://www1.etsia.upm.es/fedna/tablas.htm#subc>
30. Field, A.C. & Munro, C.S.M. (1977). The effect of site and quantity on the extent of absorption of Mg infused into the gastro-intestinal tract of sheep. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 89, 365–371.
31. Fontenot, J., Wise, M. & Webb, K. (1973). Inter-relationships of potassium, nitrogen and magnesium in ruminants. *Fed. Proc.* 32: 1925 – 1928.
32. Galbraith, H., Miller, T. B., Paton, A. M. & Thompson, J. K. 1971. Antibacterial Activity of Long Chain Fatty Acids and the Reversal with Calcium, Magnesium, Ergocalciferol and Cholesterol. *Journal of Applied Microbiology*, 34: 803–813. doi: 10.1111/j.1365-2672.1971.tb01019.x
33. García, A. & Kalscheur, K. (2006). Tamaño de partícula y Fibra efectiva en la dieta de las vacas lecheras College of Agriculture and Biological Sciences. South Dakota State University. USA. p 5. Recuperado de: <[http:// agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4033S.pdf](http://agbiopubs.sdstate.edu/articles/ExEx4033S.pdf)>.
34. Giraldo, L. Gutierrez, L. & Rua, C. (2007). Comparación de dos técnicas in vitro e in situ para estimar la digestibilidad verdadera en varios forrajes tropicales. *Rev Col Cienc Pec* 20: 269-279.
35. Goering, H.K. & VanSoest, P.J. (1970). Forage Fiber Analyses (Apparatus, Reagents, Procedures, and Some Applications). USDA Agricultural Research Service. Agricultural Handbook No. 379
36. Goff, J. (2006). Macromineral physiology and application to the feeding of the dairy cow for prevention of milk fever and other periparturient mineral disorders. *Animal Feed Science and Technology* 126, 237–257
37. Gojon, H., Siqueiros, D. & Contreras, H. (1998). Digestibilidad ruminal y degradabilidad in situ de macrocystis pirifera y sargassum spp. en ganado bovino. *Ciencias Marinas*, vol. 24, núm. 4, diciembre, pp. 463-481, Universidad Autónoma de Baja California México
38. Greene, L. W., Webb, K. E. & Fontenot, J. P. (1983). Effect of Potassium Level on Site of Absorption of Magnesium and Other Macroelements in Sheep1. *J. Anim. Sci.* 56:1214-1221. doi:10.2527/jas1983.5651214x
39. Hall, M. & Huntington, G. (2008). Nutrient synchrony: Sound in theory, elusive in practice. *J Anim Sci April* vol. 86 no. 14 suppl E287-E292.
40. Hoffsis, G., Saint-Jean, G. & Rings, D. (1989). Hipomagnesemia in ruminants. *Cont. Educ.* 11: 519-523.
41. Holden, L. A., Muller, L. D. & Fales, S. L. (1994). Estimation of intake in high producing Holstein cows grazing grass pasture. *J. Dairy Sci.* 77:2332–2340.
42. Holdridge, L. (1996). Ecología basada en zonas de vida. San José de Costa Rica: Instituto interamericano de cooperación para la agricultura.
43. Horn, J. & Smith, R. (1978). Absorption of magnesium by young steer. *Br. J. Nutr.* 40:473-484. Recuperado de: <http://www.cipav.org.co/lrrd/lrrd18/2/corr18031.htm>.
44. Hutjens, M. (1991). Feed Additives: Which, When, and Why. livestocktrail.illinois.edu
45. Hvelplund, T. & Weisbjerg, M. (2000). In situ Technique for the estimation of protein degradability and post-rumen availability, Chapter 12 en Forage Evaluation in Ruminant Nutrition CAB International. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=78WlRCCJW-MC&oi=fnd&pg=PA233&dq=Hvelplund+%26+Weisbjerg+2000+pore+size&ots=giloh9EPWo&sig=bS5cODOh3BCpPYIHCSnKG2CM9WY>
46. Jesse, B. W., Thomas, J. W. & Emery, R. S. (1981). Availability of magnesium from magnesium oxide particles of differing sizes and surfaces. *J. Dairy Sci.* 64:197.
47. Kohn, R. A., Dinneen, M. M. & Russek-Cohen, E. (2005). Using blood urea nitrogen to predict nitrogen excretion and efficiency of nitrogen utilization in cattle, sheep, goats, horses, pigs, and rats. *J. Anim. Sci.* 83:879–889
48. Lidberg, J. (1984). Nitrogen metabolism in sheep. 2. A comparison between rumen degradability of nitrogen an organic matter in sacco and in vivo in sheep fed rations and various protein supplements. *Swedish journal of agricultural research.* 14:37
49. Lindberg, J. E., & Knutsson, P. G. (1981). Effect of bag pore size on the loss of particulate matter and on the degradation of cell wall fibre. *Agric. Environ.* 6: 171.
50. Littledike, E., Stuedeman, J., Wilkinson, S. & Horst, R. (1983). Grass tetany syndrome. Pages 173–195 in Role of Magnesium in Animal Nutrition. J. Fontenot, G. Bunce, K. Webb, and V. Allen, eds. John Lee Pratt Annual Nutrition program. Blacksburg, VA.
51. Lough, D., Beede, D. & Wilcox, C. (1990). Lactational Responses to and In Vitro Ruminal Solubility of Magnesium Oxide or Magnesium Chelate. *Journal of Dairy Science, Volume 73, Issue 2, February 1990, Pages 413–424*
52. MADR Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2010). Ganadería bovina para la producción de carne en Colombia. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuaria/sipsa/Bol_Insumos_feb_2016.pdf
53. Madsen, J. & Hvelplund, T. (1994). Prediction of in situ protein degradability in the rumen: results of a European ringtest. *Livestock Production Science* 39, 201–212.
54. MAFF (1992). Feed composition – UK Tables of Feed Composition and Nutritive Value for Ruminants,
55. Martens, H. & Blume, I. (1986). Effect of intraruminal sodium and potassium concentrations and of the transmural potential difference on magnesium absorption from the temporarily isolated rumen of sheep. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* 71, 409–415.
56. Masuyama, R., Uehara, M., Suzuki, K. & Goto, S. (1995). The action of magnesium in reducing renal calcification in rats receiving high phosphorus supplemented diet. *Nutrition Research, Volume 15, Issue 11, 1673-1682.*
57. McDowell, L.R. (1996). Feeding minerals to cattle on pasture. *Animal Feed Science Technology* 60, 247-27 1
58. Minson, D.J. (1990). Magnesium. In: Forage in Ruminant Nutrition. Academic Press, Sydney, pp. 265–290.
59. Morgan, S. (2011). Solubility Rules En: Analytical Chemistry. University of South Carolina. Recuperado de: <http://www.chem.sc.edu/faculty/morgan/resources/solubility/>
60. Moseley, G. & Griffiths, D. (1984). The mineral metabolism of sheep fed high and low magnesium selections of Italian ryegrass. *Grass Forages science*, 39:105.

61. National Library of Medicine - Medical Subject Headings 2006
62. National Research Council (NRC). (2001). The nutrient requirement of dairy cattle. Seventh edition; National Academy Press, Washington D. C. Cap 9, 12, 15, 1.
63. NIST. (2011). National Institute of standards and technology. Standard reference database.
64. Nocek, J. E. (1988). In situ and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. *Journal of Dairy Science* 71 (8): 2051 – 2069
65. Nocek, J. E. (1985). Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of ruminal dry matter and protein digestion. *J. Anim. Sci.* 60:1347.
66. Ørskov, E.R., Hovell, F.D. & Mould, F. (1980). The use of nylon bag technique for the evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Productivity* 195-213.
67. Ortega, M. & Carranco, M. 1993. Factores que afectan la digestibilidad in situ de 10s alimentos en el rumen. *Vet Mex.* 24 (1) 1993.
68. Panella-Riera, N., Velarde, A., Dalmau A. E., Fàbrega, M., Font i Furnols, M., Gispert, J., Soler, J., Tibau, M.A. & Oliver, M. (2009). *Livestock Science*, Volume 124, Issues 1–3, 277-287.
69. Patnaik, P. (2003). Handbook of Inorganic Chemicals. New York: McGraw Hill.
70. Peña, G., Añez, B. & Mario, D. (2007). Respuesta de la cebolla (*Allium cepa* L.) a la aplicación de azufre, magnesio, cinc y boro en suelos alcalinos. *Revista Forestal Venezolana* - Número 043 - Vol 002.
71. Quin, J.I., Wattl van cler, J.G. & Mybiirgli, S. (1938). Studies on the alimentary tract of Merino sheep in South Africa. 4. Description of expei imental tecniqrie. *Onderstepoort J. vet. Sn. Anim. Znd.*, 11: 341-360
72. Rauch, R., Robinson, P. & Erasmus, L. (2012). Effects of sodium bicarbonate and calcium magnesium carbonate supplementation on performance of high producing dairy cows. *Animal Feed Science and Technology* 177, 180– 193
73. Reference Tables for Physical Setting/Chemistry. (2011). Edition. Kentucky University. Recuperado de: <http://www.kentchemistry.com/newRT.pdf>
74. Reis, R. B. & Combs, D. K. (2000). Effects of increasing levels of grain supplementation on rumen environment and lactation *Journal of Dairy Science* Vol. 84, No. 2, 2001 performance of dairy cows grazing grass-legume pasture. *J. Dairy Sci.* 83:2889–2899.
75. Relling A. & Mattioli G. (2003). Fisiología digestiva y metabólica de los rumiantes. Actualización. Ohio State University, Facultad de ciencias veterinarias, universidad mar del plata.
76. Rotger, A., Ferret, A., Calsamiglia S. & Manteca, X. (2006). Effects of nonstructural carbohydrates and protein sources on intake, apparent total tract digestibility, and ruminal metabolism in vivo and in vitro with high-concentrate beef cattle diets. *J Anim Sci*, 84:1188-1196.
77. Royal Society of chemistry - Chempider. (2006). Recuperado de: <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.22987.html>
78. Russell, J.B. & Dombrowski, D.B. (1980). Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Appl Envir Microbiol* 39, 604-610.
79. Scandolo D, Noro D, Bohmwald H., Contreras P & Wittwer. (2007). Variación diurna del pH y de las concentraciones de magnesio y potasio del fluido ruminal en vacas lecheras a pastoreo. *Arch. Med. Vet.* 39, N° 2.
80. Schaefer, D., Wheeler, L. Noller C., Keyser, R. & White, J. (1982). Neutralization of Acid in the Rumen by Magnesium Oxide and Magnesium Carbonate. *Journal of Dairy Science* Vol. 65, No. 5.
81. Schonewille, J. Everts, H., Jittakhot, S. & Beynen, A. (2007); Quantitative Prediction of Magnesium Absorption in Dairy Cows. *J. Dairy Sci.* 91:271–278
82. Schonewille, J., Van't Klooster, A., Wouterse, H. & Beynen, A. (1998). Effects of Intrinsic Potassium in Artificially Dried Grass and Supplemental Potassium Bicarbonate on Apparent Magnesium Absorption in Dry Cows. *J Dairy Sci* 82:1824–1830
83. Schonewille, J. (2013). Magnesium in dairy cow nutrition: an overview. *Plant and Soil July 2013, Volume 368, Issue 1-2, 167-178*
84. Tomas, E. & Potter, B. (1976). The site of magnesium absorption from ruminal stomach. 1976. *Br. J. Nutr.* 36: 37-45.
85. Uden, P. & Van Soest, P. (1984). Investigation of the In situ bag technique and a comparison of the fermentation in heifers sheep, ponies and rabbits. *Journal of Animal Science* 58: 213
86. Underwood, E. & Suttle, N. (1999). The mineral nutrition of livestock 3rd edition. CABI International.
87. Van Eys, J. E. and R L. Reid. (1987). Ruminal solubility of nitrogen and minerals from fescue and fescued clover habage. *J. Anim. Sci.* 62, 1101.
88. Van Hellen R. & Ellis W. (1977). Sample container porosities for rumen in situ studies. *Journal of Animal Science* 44:141.
89. Vanhatalo, A. (1995). Assessment of intestinal feed nitrogen digestibility in ruminants by the mobile-bag method. Dissertation, Agricultural Research Centre of Finland, Institute of Animal Production, 124 pp.
90. Wittwer, F., Contreras, P., Klein, R. & Bohmwald, T. (1995). Efecto de la administración oral de óxido de magnesio y sulfato de magnesio en vacas con hipomagnesemia inducida. *Arch. Med. Vet.* XXVII, N°1.
91. Xin, Z., Tucker, W. & Hemken, R. (1989). Effect of Reactivity Rate and Particle Size of Magnesium Oxide on Magnesium Availability, Acid-Base Balance, Mineral Metabolism, and Milking Performance of Dairy Cows. *J Dairy Sci* 72, 462-470

Conflicto de Intereses

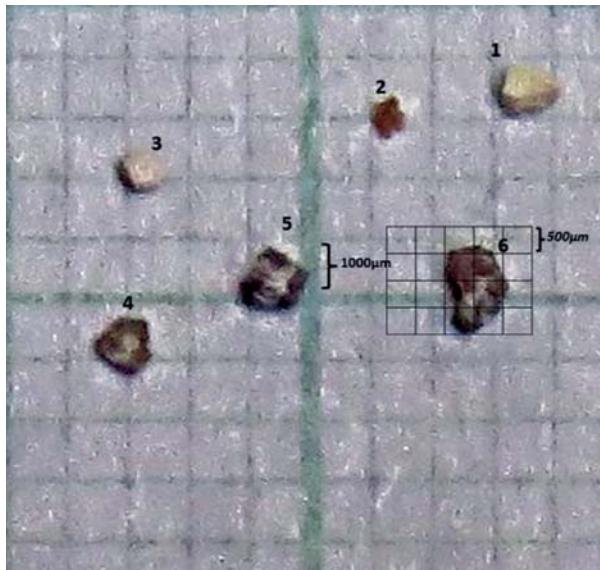
Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: julio 26 de 2016
Aceptado: agosto 18 de 2016

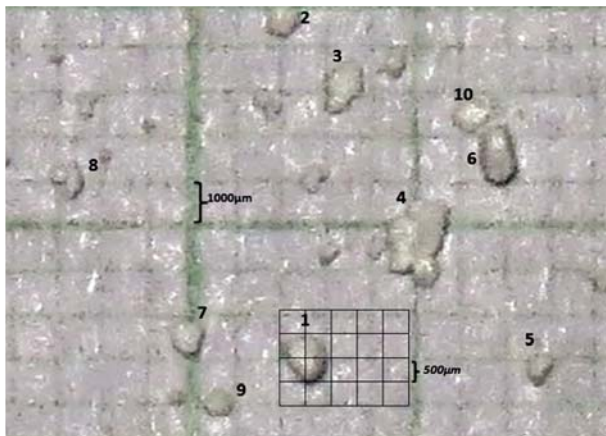
ANEXOS

Muestras de partícula para la determinación del tamaño de partícula de las fuentes minerales utilizadas en el experimento, medidas sobre papel milimetrado con divisiones de 1mm (1000µm)

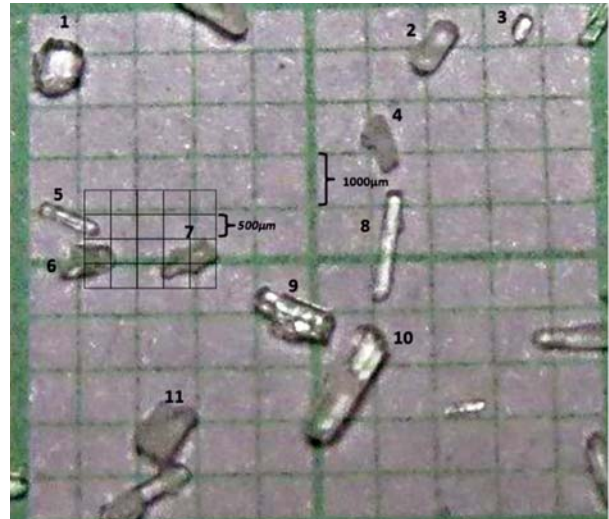
1 Tamaño de Partícula MgO



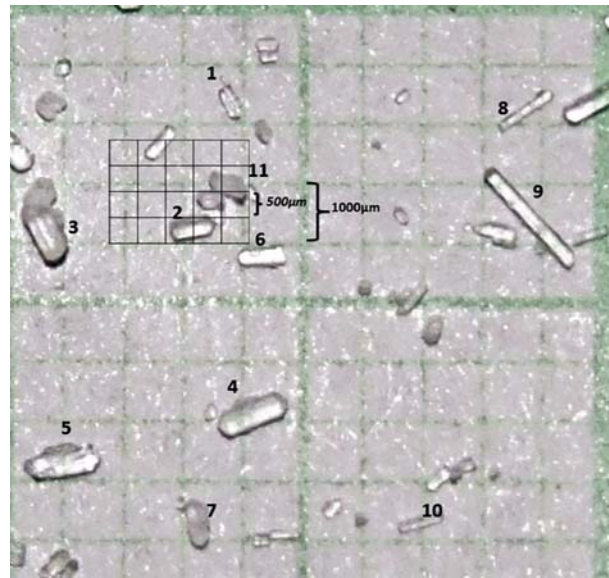
2 Tamaño de partícula MgCO₃



3 Tamaño de partícula MgSO₄



4 Tamaño de partícula MgCl₂



Cambios en la orientación productiva en el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México. ¿De chiveros a porcicultores?

Changes in the productive orientation in Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, Mexico. From goat producers to pig producers?

Mudanças na orientação produtiva em Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México. ¿De produtores de cabros a produtores de suínos?

Randy Alexis Jiménez Jiménez¹, Alejandro Martínez Santibáñez², Valentín Espinosa Ortiz³, María Camila Rendón Rendón⁴ & Luis Manuel Chávez Pérez⁵

¹Médico Veterinario Zootecnista, MSc en Ciencias de la Producción y la Salud Animal, Estudiante Doctorado en Desarrollo Rural de la Universidad Autónoma Metropolitana de México. ²Médico Veterinario Zootecnista. ³Médico Veterinario Zootecnista. Magister en Producción Animal, Doctor en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. ^{4,5}Doctorante en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

^{1,3}Departamento de Economía, Administración y Desarrollo Rural. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Nacional Autónoma de México. Av. Universidad #3000 Circuito Exterior, Ciudad Universitaria. Coyoacán Código Postal 04510, México D.F. ²Escuela de Agronomía. Universidad De LaSalle Bajío A.C. Av. Universidad 602, Col. Lomas del Campestre. Código Postal 37150. León, Guanajuato. México. ^{4,5}Doctorante en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco. Prolongación Canal de Miramontes #3855, Col. Ex – Hacienda San Juan de Dios, Tlalpan. Código Postal 14387, Ciudad México

¹alexis.j2@gmail.com, ²santibanez@gmail.com, ³veo@unam.mx, ⁴mcrendon@gmail.com, ⁵luischavez_80@hotmail.com

Resumen

La orientación productiva se entiende como las características fundadas en la historia y configuración social y cultural que se distinguen en un contexto regional. En las últimas décadas, por las reformas estructurales en el sector agropecuario y por procesos de intervenciones externas del desarrollo, algunas regiones han modificado su orientación productiva. El objetivo de este artículo es mostrar las tendencias de cambio en la producción animal

de la comunidad el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México, con el fin de ayudar a comprender la dinámica productiva y la influencia de la intervención externa en el contexto local. Para identificar los cambios en la producción animal se realizaron dos estudios transversales, en 2012 y 2015. En ambos estudios se realizaron censos de la población animal y se utilizaron guías de diálogo y observación participante, los cuales abordaron temas como:

1 Departamento de Administración, Economía y Desarrollo Rural, FMVZ-UNAM

2 Kobotics.

genética, reproducción, alimentación, manejo, sanidad y aspectos socioeconómicos de las familias. Los resultados mostraron que en este periodo de tiempo la población de cabras se redujo en 28 %, esta tendencia también se observó en el número de caballos y burros. Caso contrario ocurrió con la población de cerdos y bovinos, que incrementaron al 400% y 90%, respectivamente. Debido a los procesos de intervención, los pobladores han cambiado algunos hábitos en relación a la medicina preventiva e higiene animal. Los motivos de estos cambios tienen que ver con la estructura y la edad de los miembros de la familia, lo cual influye en tener una especie menos o más productiva y comercializable.

Palabras clave: producción animal, orientación productiva, procesos de intervención,

Resumen

The productive orientation is understood as characteristics based on history and social and cultural settings which are distinguished in a regional context. In recent decades, by structural in the agricultural sector reforms and external interventions of the development processes, some regions have modified their productive orientation. The aim of this article is to show the trends of change in animal production of the chickpea, Irapuato, Guanajuato, Mexico, community in order to help understand the productive dynamics and the influence of outside intervention in the local context. To identify changes in animal production were two cross-sectional studies, in 2012 and 2015. The animal population censuses were conducted in both studies and were guides for dialogue and participant observation, which addressed issues such as: genetics, reproduction, feeding, management, health and socio-economic aspects of the families. The results showed that in this period of time the population of goats was reduced by 28%, this trend was also observed in the number of horses and donkeys. Otherwise occurred with the population of pigs and cattle, which increased to 400% and 90%, respectively. Due to the processes of intervention, villagers have changed certain habits in relation to animal

health and preventive medicine. The reasons for these changes are related to the structure and the age of the members of the family, which influences have a species less or more productive and marketable.

Key-words: animal production, productive orientation, intervention processes.

Resumo

A orientação produtiva é entendida como as características fundadas na história, configuração social e cultural que se distinguem em um contexto regional. Nas últimas décadas, pelas reformas estruturais no setor agropecuário e por processos de intervenções externos do desenvolvimento, algumas regiões modificaram sua orientação produtiva. O objetivo de este artigo é mostrar as tendências de mudança na produção animal da comunidade el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México, com intuito de ajudar a compreender a dinâmica produtiva e a influência da intervenção externa no contexto local. Para identificar as mudanças na produção animal foi realizado dois estudos transversais, em 2012 e 2015. Em ambos estudos realizaram censos da população animal e utilizaram guias de diálogo e observação participante, os quais abordaram temas como: genética, reprodução, alimentação, manejo, sanidade e aspectos socioeconómicos das famílias. Os resultados mostraram que em esse período de tempo a população de cabras foi reduzida em 28 %, esta tendência também era observada no número de cavalos e burros. Caso contrário ocorreu com a população de porcos e bovinos, que incrementaram a 400% e 90%, respectivamente. Debido aos procesos de intervenção, os habitantes mudaram alguns hábitos em relação a medicina preventiva e higiene animal. Os motivos de estas mudanças estão relacionados com a estrutura e a idade dos membros da família, o qual influi em ter uma espécie menos ou mais produtiva e comercializável.

Palavras-chave: produção animal, orientação produtiva, processos de intervenção

Introducción

Cada espacio geográfico tiene sus peculiaridades en cuanto a recursos naturales, los asentamientos humanos ya sea por elección o por imposición habitan estos espacios, y de acuerdo a sus recursos construyen territorios con cierta orientación productiva agrícola y animal. La orientación productiva se entiende como las características fundadas en la historia y configuración social y cultural que se distinguen en un contexto regional. Es una propuesta de análisis de un tipo de localidades con su historia productiva (Nabor, 2011).

Los sistemas de producción caprina en México han sido, tradicionalmente, una manera de utilizar los recursos de baja productividad, como son los agostaderos de las zonas áridas y semiáridas del estado de Guanajuato. Las condiciones fisiográficas y climáticas de estas zonas favorecen la producción de especies forrajeras de temporal que pueden ser utilizadas únicamente por especies como las cabras, por sus características morfológicas y de adaptabilidad a estos espacios geográficos. De tal forma que más de trescientas mil familias en este tipo de regiones agrestes orienta su producción animal hacia la caprinocultura como una de sus principales actividades económicas (Guerrero, 2010)

Los procesos de intervención de los gobiernos y de la sociedad civil, han buscado la manera de incidir y transformar en diferentes aspectos la vida de los otros, de los atrasados, modernizarlos y que alcancen el progreso y desarrollo. Las estrategias durante años han sido variadas, dos de ellas la Revolución Verde y el Desarrollo Rural Integrado (Diego, 2012), en algunos casos lograron incidir en los mundos de vida, desapareciendo actividades productivas ancestrales o incluso incrementando la pobreza al crear sociedades dependientes de lo moderno. En las últimas décadas, por los procesos de intervenciones externas del desarrollo y las reformas estructurales en el sector agropecuario, algunas regiones han modificado su vocación productiva, buscando actividades más rentables y competitivas. Por eso en el contexto actual, donde se construyen nuevas relaciones entre varios sectores, debemos distinguir la forma en que las

pequeñas localidades experimentan los cambios estructurales y analizar los contenidos de sus respuestas (Nabor, 2011).

De acuerdo a lo anterior el objetivo del presente artículo es mostrar las tendencias de cambio en la producción animal de la comunidad el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México, con el fin de ayudar a comprender la dinámica productiva y la influencia de la intervención externa en el contexto local.

Materiales y Métodos

Reconocimiento del lugar

Para trabajar en la comunidad se identificaron informantes claves del lugar. En una primera instancia se coordinaron las estancias con prestadores de servicio social que en su momento realizaban actividades de servicio con la asociación Choice Humanitarian México, -asociación civil sin fines de lucro que atiende a personas y comunidades en condiciones de marginación, pobreza o discapacidad-, la cual mantiene procesos de intervención en el lugar. Posteriormente, se contactaron personas locales como la delegada de la localidad y dos residentes de la comunidad para generar una mayor confianza entre la población.

Los cambios en la producción animal se identificaron en dos estudios transversales realizados en la comunidad como parte de las prácticas de la asignatura de Desarrollo Rural de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, el primero en el 2012 y el segundo en el 2015. En ambos estudios se realizó un censo general de la población y un censo de población animal, se elaboró un mapa del lugar y se utilizaron guías de diálogo y observación participante (Gelfius, 2002), las cuales abordaron temas referentes a las prácticas zootécnicas: genética, reproducción, alimentación, manejo, sanidad y, sobre aspectos socioeconómicos de las familias. Algunos datos se compararon con fuentes secundarias disponibles. Así mismo, como parte de la estancia y de la reciprocidad con la población se ofrecieron servicios médicos veterinarios.

Reseña del Garbanzo, Irapuato, Guanajuato.

La comunidad de El Garbanzo, pertenece a la porción alta del Río Temascalío ubicado en el municipio de Irapuato, se localiza al noreste del municipio a una altura de 2,030 msnm. Limita al norte con el municipio de Guanajuato, al oeste con Salamanca, al sur y este con la comunidad de El Comederito perteneciente a Irapuato. El Garbanzo está compuesto por lomas y cerros, es rodeado por dos arroyos donde fluye el agua en la temporada de lluvias, entre los meses de mayo y septiembre (Pueblos de América, 2015). El clima en el municipio es semi-cálido, subhúmedo, en las cumbres altas se dan climas semi-fríos sub-húmedos. Cuenta con una temperatura media anual de 19.6°C, agosto es el mes que registra mayor precipitación pluvial con 614.5 mm, el mes más cálido se registra en mayo con 24°C, mientras que el más frío es enero con 15.2°C (INAFED, 2015).

Anteriormente, la localidad pertenecía a la Hacienda del Copal, siendo ocupada por una familia que cuidaba del ganado y las tierras de cultivo; con el paso de los años siempre fue ocupada únicamente por una familia hasta que se invitó a las familias de apellido Yépez y Mondragón para que cuidaran de las tierras y trabajarán en ellas. Establecidas estas familias cultivando la tierra y cuidando animales comenzaron la lucha por apropiarse de estas, lucha que en la década de los cincuenta vio frutos al constituirse el ejido de El Garbanzo. Este nombre lo acuñaron debido a que el Garbanzo era su principal cultivo en la época de la ocupación de la Hacienda del Copal. En la localidad se encuentran 21 viviendas, donde actualmente habitan 32 familias. La población, en el 2001 era de 113 personas 63 eran mujeres y 50 hombres; el número de personas ha sido muy oscilante en los últimos quince años, en 2012 disminuyó a 96 habitantes, mientras que en el 2015 se encontraron 106 personas, 61 son personas adultas y el resto es población juvenil. Esta última, tanto hombres como mujeres frecuentan salir a otras regiones del país o bien a Estados Unidos, para buscar mejores alternativas de trabajo e ingreso (Jiménez & Asteinz, 2008).

Debido a la escasa vegetación y aridez del suelo, el suministro y consumo de agua es limitado, ya que fundamentalmente disponen de agua en época de

lluvias cuando los dos pequeños manantiales proveen del líquido; su volumen se reduce drásticamente en tiempos de sequía (Jiménez & Asteinz, 2008). En las viviendas censadas se encontró que 18 cuentan con cisternas para almacenar agua, mientras que 8 no poseen alguna. Las viviendas cuentan con luz eléctrica, cinco cuentan con piso de tierra y ninguna con drenaje; catorce de ellas cuentan con baño seco y el resto fosas sépticas. En cuanto a servicios la población cuenta con un centro de salud, escuela preescolar, primaria y secundaria, transporte público, una iglesia y tres tiendas de abarrotes. El servicio médico se otorga una vez al mes por parte de la Secretaría de Salud y únicamente se ofrece servicios de medicina preventiva. En cuanto a la escolaridad, en la población una de cada cinco personas no cuenta con estudios y representan a la población de 49 años o más. El 50% de las personas cuenta con estudios de nivel primaria y una de cada cinco, cuenta con los estudios de secundaria. Hasta el momento ninguna habitante cuenta con estudios de educación superior. El transporte público funciona lunes, miércoles, viernes, sábados y domingos, sale a las 9 am para la ciudad de Irapuato y regresa a las 4 pm, realiza un recorrido aproximadamente de dos horas. En la comunidad solo se encuentran comercios donde se adquieren abarrotes que son surtidos por los propietarios puesto que ninguna empresa surte directamente en la comunidad. Comerciantes esporádicos llevan a ofrecer frutas, verduras y pan semanalmente, comerciantes de muebles y ropa, mensualmente. El resto de los productos los adquieren en la ciudad de Irapuato.

Resultados y discusión

Cambios en la población y producción animal

Cada familia cuenta con animales, ya sean cabras, cerdos, aves, borregos, caballos, burros, gatos y perros; la mayoría de los animales son utilizados para generar ingresos y productos de autoconsumo. En la Tabla 1, se muestra el número total de animales por especie que se contabilizaron durante los dos estudios transversales de 2012 y 2015, además se agregaron los datos recopilados por Asteinz & Jiménez (2003) en el 2001, como se observa la población de estos animales se ha modificado en los últimos años.

Tabla 1. Número de especies domésticas productivas en el Garbanzo, Irapuato en los años 2001, 2012 y 2015

Animales	2001	2012	2015
Caprinos	573	485	349
Aves		208	138
Bovinos	58	55	105
Equinos	95	71	61
Cerdos		11	56
Perros		47	40
Peces			38
Burros	40	27	20
Gatos		9	17
Conejos			2
Ovinos		10	2
Total	766	923	828

Fuente: elaboración propia a partir de los censos realizados y de los datos de Asteinza & Jiménez, (2003)

Como se puede observar la población de animales se modificó en este corto periodo de tiempo, pero se evidencian ciertas tendencias a incrementar o disminuir, según la especie, desde el 2001. En particular, son notorias estas modificaciones en las especies caprina, bovina, porcina y de los équidos. De manera especial se observa que el número de cabras se redujo en 28%, pero en lo reportado en 2001 esta población disminuyó casi el 40%; esta tendencia también se observa en el caso de los caballos y los burros, donde la población se redujo al 24 y 26% respectivamente, pero desde el 2001 la población ha ido disminuyendo en ambos casos. Caso contrario ocurre con la población de cerdos y bovinos, que incrementaron al 400% y 90%, respectivamente. Cabe resaltar que la producción de tilapia en acuaponía ha sido una especie bien recibida a partir de los procesos de intervención que ha realizado Choice, donde ocho familias han adoptado este modelo de producción.

Revisando con más profundidad, se ve que estos cambios tienen sus particularidades en cada familia. En los estudios transversales las familias que tienen cabras han sido las mismas, únicamente han reducido

el tamaño del hato, de un promedio de 29 chivas redujeron a 40 animales, asimismo, el número de familias que poseen vacas se ha mantenido, pero han incrementado el número de animales. Mientras que los que poseen cerdos han incrementado tanto número de familias como en el número de animales promedio por familia. En el caso de los équidos, el número de familias que poseen este tipo de animales se redujo, no así el número promedio por familia (Tabla 2).

Una de las causas observadas de estos cambios se relaciona con las principales fuentes de ingresos y con las características demográficas de las familias. La economía de la comunidad no es muy activa, su principal fuente de ingreso es la venta de queso, maíz, forraje en época de secas y leña. La cabeza de las familias es por lo general el hombre, pues la mayoría de ellos se dedican al campo y otras actividades como la albañilería y la venta de quesos que realizan en Irapuato. Las mujeres también forman parte esencial de la economía familiar pues ellas son las que elaboran el queso, además de ser ellas quienes atienden la mayor parte del tiempo a las cabras y cerdos. Los quesos se venden a un precio de \$12.00 la pieza en el municipio de Irapuato.

Tabla 2. Número de familias y promedio de las principales especies de animales presentes en el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato en los años 2012 y 2015.

	2012			2015		
	Familias	Animales	Promedio	Familias	Animales	Promedio
Cerdos	11	11	1	17	56	3
Bovinos	8	51	6	8	105	13
Caprinos	12	485	40	12	349	29
Equinos	19	71	4	17	61	4
Burros	14	27	2	9	20	2

Fuente: Elaboración propia a partir de los censos realizados

De tal forma que durante las estancias se pudo percibir que a medida que los miembros de una familia se van haciendo mayores en edad, la dependencia de animales que generan ingresos monetarios disminuye. Las cabras como se menciona, son una importante fuente de ingresos por la venta semanal de quesos. Para realizar esta actividad, que involucra el ordeño, la limpieza de corrales, el pastoreo, la elaboración de queso, entre otras, requiere de tiempo y de mano de obra variada y continua, la familia en estas regiones es la principal proveedora de mano de obra, donde participan varios miembros; el padre regularmente se encarga del ordeño, la madre de la elaboración del queso y los hijos mayores de diez años del pastoreo, de tal manera que los niños y la mujeres se encargan en su mayoría de las actividades que las cabras demandan, tal y como sucede en otras regiones con sistemas de producción caprina (Serrano *et al.*, 2012). Con esta actividad las familias con mano de obra disponible, pueden solventar los gastos de consumo domésticos y sociales, siempre y cuando sus hijos que los apoyan hayan rebasado los ocho años de edad y no dependan de la atención al cien por ciento de los padres; con lo cual, tanto la madre como el padre pueden realizar otras actividades que les permiten complementar sus ingresos para solventar el tamaño de su familia. Una vez que las familias se van reduciendo en número, principalmente porque los jóvenes empiezan a migrar o a trabajar por su cuenta, la necesidad de realizar gastos en alimentación y educación va disminuyendo para los padres.

Lo que en primera instancia permitiría pensar que con esto reducen sus compromisos y empiezan a disminuir la productividad en sus actividades, entre ellas la producción caprina. Caso contrario ocurre si hay una familia joven con hijos pequeños, ya que para realizar los gastos en educación, alimentación, transporte y vestido se tienen que diversificar los ingresos con la producción animales y otros fuera de la localidad. Quizá esto último sea explicación que las familias nuevas estén optando ahora por producir cerdos en vez de cabras.

Como lo mencionan Perea, Sánchez & Martínez (2011), la porcicultura campesina, aparte de generar ingresos o ser una fuente de ahorro, no se le invierte mucho tiempo para cubrir las actividades y manejo que estos necesitan, ya que se mantienen confinados en su vivienda; esto permite a los jefes de familia, realizar otras actividades de remuneración económica, y a las mujeres o esposas realizar actividades del hogar y de atención a los hijos, como sucede con algunas familias del Garbanzo. Estos aspectos difícilmente se pueden realizar cuando se tienen hijos pequeños, debido a que las cabras por los escasos recursos forrajeros en la región, requieren más tiempo y mano de obra para el pastoreo, que conlleva recorrer grandes distancias para encontrar forrajes, lo que implica mayor tiempo, que tanto el jefe de familia o la esposa no pueden comprometer en razón a sus hijos y a los ingresos que puedan percibir en otra actividad. Estos cambios que ocurren en el número de animales y las familias

que los poseen, implicarían también que se posee un conocimiento de las prácticas zootécnicas para las nuevas especies que se están impulsando para su utilidad productiva y económica, por tanto, también se consideró indagar sobre las prácticas zootécnicas en estos periodos.

Cambios en las prácticas zootécnicas para producción animal

Las prácticas zootécnicas dentro de la comunidad está basadas en la familia, y para el manejo en la mayoría de las especies se continúa realizando lo que comúnmente han realizado por generaciones. Las cabras son de los pocos animales que tienen un alojamiento con límites y techo, en su mayoría son corrales hechos de materiales obtenidos de la zona, principalmente rocas. Los animales a pesar de las diferentes etapas productivas comparten y conviven diariamente en el mismo espacio. El fin zootécnico de las cabras es de carácter lechero, se ordeñan una vez al día para la producción de quesos frescos. En el ordeño no se observó la utilización de bancos de ordeño, una práctica recomendada e impulsada por Vázquez (2014) durante su estancia, para mejorar el proceso higiénico del ordeño. En cuanto a los porcinos su finalidad es el engorde y se finalizan alrededor de los 80-90 kg, el manejo tampoco se realiza por etapas productivas.

Los bovinos son llevados a los lomeríos durante la época de lluvias y su manejo es totalmente nulo, los propietarios visitan de vez en cuando a su ganado, pero sin manipularlos. Durante la temporada de secas los animales son regresados a los establos familiares. Su fin zootécnico es la producción de carne y la mayoría de los animales son vendidos. Los équidos de la comunidad se trabajan continuamente a partir de los 2-3 años de edad y son usados para arar el campo y apoyar a la familia como medio de transporte. Para todas las especies no se lleva un registro de parámetros productivos.

La genética animal de la comunidad es en su mayoría ganado criollo. Estas características no se han modificado en los últimos años, pero en relación a los caprinos estos se han tratado de mejorar con animales de raza dedicados a la producción lechera,

tales como Sannen, Toggenburg y Alpino Francés; también se observó genética orientada a la producción cárnica de la raza Boer; los pobladores refieren que hace poco se trató de introducir esta raza, sin embargo, murieron ante las condiciones climáticas del lugar, por lo dicho de los habitantes, la genética criolla con la que se cuenta es la mejor y la más adaptada a las condiciones del lugar. Para la porcicultura, algunas personas han mejorado sus animales con el apoyo de Choice, que recientemente les proporciona cerdos híbridos de las razas: Landrace, Pietrain, Yorkshire y Duroc. En cuanto a los bovinos, estos tienen rasgos de ganado de trópico, mezclados con razas europeas con características fenotípicas tanto de carne como de leche, no cuentan con razas especializadas. Los équidos del lugar son criollos.

El manejo reproductivo en general de los animales en la comunidad es casi nulo; no hay una época de empadre bien definida, el único diagnóstico de gestación que se utiliza es el de “no retorno al estro”, por lo tanto, los partos no se encuentran monitoreados y las fechas son inciertas. Por otro lado, la alimentación del ganado en la comunidad está basada en el pastoreo y la agricultura familiar, por lo tanto, los animales son alimentados a base de forraje local, zacate y rastrojo de maíz. La cantidad de alimento proporcionado depende de la posibilidad de las familias y se le da a consideración de las mismas, ocasionando en algún momento que no se cubran los requerimientos nutricionales de todo el hato. En cuanto al agua se les proporciona de aquella contenida dentro de las cisternas de ferrocemento, la frecuencia varía de acuerdo a la familia, pero en general, se les da una vez al día.

Las cabras como se mencionó basan su alimentación en el pastoreo, pero además hay familias que tienen la facilidad de suplementar a su ganado con rastrojo de maíz y alimento balanceado. En algunos hatos a partir del 2015, se ha empezado a proporcionar bloques de sales minerales como complemento nutricional. Esta característica no fue observada en el estudio de 2012, ni por los prestadores de servicio social (Vázquez, 2014), al parecer en este aspecto muchas de las personas han seguido

la recomendación de estos últimos y de los médicos de la región, con el fin de que sus animales incrementen la producción.

A los cerdos en general se les da alimento balanceado de distintas marcas comerciales. Aquellas familias que producen quesos, tienen la posibilidad de suplementar a sus cerdos con suero de leche. De acuerdo a los servicios veterinarios solicitados, hay un creciente interés en conocer acerca de la alimentación para el engorde, ya que preguntaron sobre lo adecuado de su dieta y que tenían que hacer para mejorarla y que logren el peso deseado en menor tiempo. En el tema de sanidad, se han implementado diversos cursos y capacitaciones alrededor del tema. Actualmente la comunidad se encuentra sumamente sensibilizada acerca de la prevención de enfermedades y del cuidado del agua para su consumo. La medicina preventiva es una preocupación constante; durante la visita, la población solicitó el servicio de desparasitación de casi todas las especies animales, así como la aplicación de vitaminas para que aprovecharan mejor los alimentos. Esta práctica de acuerdo a los prestadores era una actividad que ya venían realizando anteriormente, pero sin calendarizar, sin alternar medicamentos y principios activos y sin que se respetaran los tiempos de retiro en leche de los productos. En el último estudio, se notó que la población está más sensibilizada en este tema, porque buscan realizar de manera calendarizada la desparasitación, preguntan por el tiempo de retiro en leche, y están preocupados por los desparasitantes que han dejado de funcionar.

El medio ambiente, también es tema que preocupa a la gente, y se centra en el agua que consumen. Para algunos, los tinacos y las cisternas de ferro cemento son un medio para que puedan consumir agua no contaminada, ya que, si ocupan la que escurre de los cerros en la época de lluvias, es probable que esté contaminada por los desechos de los animales que pastorean en la zona y por los residuos de medicamentos que estos desechan cuando los desparasitan.

En general se tiene un saneamiento básico de las instalaciones ganaderas, hay familias que limpian

sus corrales diariamente, aunque no hay manejo de cadáveres. Para el ordeño de las cabras se han dado charlas para mejorar esta práctica, sin embargo, en la última estancia de 2015 no se observó el saneamiento de las manos antes del ordeño, ni de los contenedores de la leche, quizás esto se deba por la escasez de agua. La elaboración de quesos se hace inmediatamente después de la ordeña, lo que disminuye la posibilidad de la proliferación de microorganismos. Aunado a esto las familias que se dedican a la elaboración de quesos tratan de mantener la cadena fría e intentan comercializar lo más pronto posible. Una ventaja que tienen respecto a la inocuidad de sus productos es que de acuerdo al muestreo para brucelosis realizado por Vázquez (2014), los animales son negativos a esta enfermedad, lo que les abre la posibilidad de comercializar sus productos de manera más segura.

Conclusiones

La producción animal en el Garbanzo, en los últimos años ha mostrado una tendencia a modificar su principal especie productiva orientada por las condiciones fundadas en la fisiografía, el clima, en la historia y en la configuración sociocultural. Es notorio que el número de cabras ha ido disminuyendo desde hace quince años; estos cambios responden a la influencia de la vida moderna que han sufrido las comunidades rurales, en busca de mejores condiciones de vida y de satisfacer deseos creados por la modernidad, las familias adoptan elementos y formas para producir de manera eficiente y adquirir ingresos monetarios. De tal forma que especies como los cerdos y bovinos, que no requieren mucha mano de obra, ni tiempo en la localidad, se han vuelto una opción productiva para generar mayores ingresos complementarios.

A pesar de que estos cambios llevan consigo una ideología del capital basado en la eficiencia, la competitividad y la acumulación; de acuerdo a lo observado, los motivos de estos cambios tienen que ver con el tamaño y la estructura familiar, lo cual influye en elegir las actividades agrícolas que se han compatibles con esa estructura, con el contexto y con

las necesidades inmediatas de la familia. Esta estrategia para solventar la vida, no es consecuencia de intervención externa o de la modernidad, es más bien un rasgo de la economía campesina que busca con el empleo principal de su propia familia cubrir más de la mitad del total de actividades agropecuarias producidas (Thorner, 1979).

Por tanto, cabe resaltar que los chiveros al parecer no han dejado de serlo, el vínculo y utilidad de las chivas con las familias no ha disminuido, y tampoco la comunidad se ha volcado hacia la porcicultura; más bien, el aumento de la población tanto de cerdos como de bovinos, indica una diversificación productiva característica de la economía campesina que busca hacer frente a las incertidumbres de la agricultura, del mercado y de las necesidades variadas que la población ha adquirido.

Los procesos de intervención externa de la sociedad civil al parecer no han influido en las tendencias de cambio en la orientación productiva del Garbanzo. Es notorio que asociaciones como Choice junto con la participación de los prestadores de servicio social han tratado de apoyar para que la caprinocultura se fortalezca y siga siendo una actividad que ofrezca percepciones económicas a las familias, al contrario de las tendencias de cambio. Esto ha llevado que las personas hayan cambiado algunos hábitos en relación a la medicina preventiva e higiene con sus animales, además de que tengan la disponibilidad para conocer otras formas de hacer las cosas; por tanto, de manera directa no han buscado influir en el cambio de la orientación productiva, sin embargo, esto a la vez muestra que las intervenciones muchas veces no siguen las dinámicas de cambio que lleva la población local.

Para reconocer este tipo de cambios, el censo animal y las guías de dialogo para identificar las prácticas zootécnicas, pueden ser un buen referente para concretar indicadores cualitativos y cuantitativos que ayuden observar la influencia y el impacto de las actividades de intervención para el desarrollo local. No obstante, también habría que agregar el volumen o la cantidad producida de las especies productivas como un indicador, para identificar si,

la disminución o aumento de una especie, corresponde también a una variación en la producción; si bien en el Garbanzo se observó una disminución en el número de cabras, esto no significaría necesariamente que el volumen de producción haya disminuido drásticamente, ya que por lo observado, los chiveros han adquirido nuevos conocimientos para mejorar las prácticas zootécnicas que incrementan la productividad por animal.

El estudio realizado en el Garbanzo mostró diferentes carencias en el ámbito de la producción animal, esencialmente por la falta de agua y la ubicación geográfica de la comunidad. Sin embargo, el trabajo, la organización, el gusto y la persistencia a una forma de vida, así como la propia escasez, hacen de las personas del Garbanzo, buscar la manera para mantener y mejorar la productividad de sus animales, su tierra y su familia. Es así que las prácticas zootécnicas las realizan con el conocimiento adquirido en la interacción con los procesos de intervención, la experiencia de décadas y del saber-hacer transmitido por generaciones, que siguen el sentido común y la lógica que da vivir y sobrevivir en el entorno en el que han luchado para constituir una identidad.

Literatura citada

1. Asteinza, G., Jiménez, M. (2008). Limitantes técnico-constructivas, socioeconómicas, cultural y políticas en la construcción de bordos en tres comunidades del río Temascalco, estado de Guanajuato. *Boletín del Archivo histórico del Agua. Vol 13.* pp 32-43 Recuperado de: <http://132.248.9.34/hevila/Boletindelarchivohistoricodelagua/2008/vol13/noesp/4.pdf>.
2. Diego, R. (2012). Intervención y territorialidades en el desarrollo rural. En: *Disputas territoriales. Actores sociales, instituciones y apropiación del mundo rural.* México: Universidad Autónoma Metropolitana, pp. 243-269.
3. Gelfius, F. (2002). 80 herramientas para el diagnóstico participativo: diagnóstico, planificación, monitoreo, evaluación. San José: IICA.
4. Guerrero, M. M. (2010). La caprinocultura en México, una estrategia de desarrollo. *Revista Universitaria de Ciencias Sociales (RUDICS); (1):* 2-7. Recuperado de: <http://www.cuautitlan.unam.mx/rudics/ejemplares/0101/pdf/art06.pdf>
5. INAFED. (2015). Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal. Recuperado de: <http://www.>

- inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM11guanajuato/municipios/11033a.html consultado en junio de 2015
6. Jiménez, M. & Asteinza, G. (2003). Sistemas de Aprovechamiento de agua para consumo doméstico en tres comunidades, de la porción alta del Río Temascalí, Estado de Guanajuato, México, XI IRCSA Conferece, Proceedings. Texcoco, México. Recuperado de: <http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/pdf/11th/Velázquez.pdf>
 7. Pueblos América. (2015). El Garbanzo: Recuperado de: <http://mexico.pueblosamerica.com/lel-garbanzo-2/>
 8. Nabor, E. (2011). "Cada casa es una fábrica": orientación productiva, mujeres que producen y proyectos del Estado. Respuestas desde el hogar. *Desacatos*, num 35, enero-abril, pp. 115-130
 9. Perea, M., Sánchez, E. & Martínez, F. E. (2011). Importancia de los sistemas campesinos de producción porcina para la familia rural, en: *La ganadería ante el agotamiento de los paradigmas dominantes*, vol. 1. Universidad Autónoma Chapingo Pp.277-284
 10. Serrano, M. L., Calderón, F., Vargas, S., Bustamante, Á., Guerrero, J. & Delgadillo, M. (2012). Valorización de la mujer y el niño en las actividades de los sistemas caprinos lecheros de la región de Libres, Puebla, en *Ganadería y alimentación: alternativas frente a la crisis ambiental y el cambio social*. Vol. 2. Universidad Autónoma Chapingo Pp.734-748
 11. Thorner, D. 1979. La economía campesina como una categoría en la historia económica, en *Campesinos y sociedades campesinas*. Fondo de Cultura Económica, México. Pp. 182-196
 12. Vázquez, D. N. (2014). Informe de actividades de servicio social realizado en apoyo al centro humanitario para las obras y el intercambio cultural y educativo, asociación civil (CHOICE, A.C.), en el rancho "el Garbanzo", municipio de Irapuato, Guanajuato, México. Informe de servicio Social en Área Rural. FMVZ-UNAM.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: agosto 01 de 2016
Aceptado: agosto 22 de 2016

Isolamento de lectinas por cromatografia de afinidade

Aislamiento de lectinas por cromatografía de afinidad

Isolation of lectins by affinity chromatography

José Camilo Torres Romero¹, Myriam Janeth Ortega Torres²,
Jhon Alexander Infante Betancour³ & Cicero Antonio Maia Cavalcante⁴

¹ Licenciado en Biología, Magister en Ciencias – Bioquímica, Doctor en Bioquímica. **Magister en Ciencias Agrarias**. ² Licenciada en Biología. Magister en Producción Animal- Genética Molecular Animal. Estudiante Doctorado en Producción Animal. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Colombia. ³ Biólogo, Magister en Ciencias- Biología. ⁴ Bacharel em Ciências Farmacêuticas, Licenciatura em Ciências Biológicas, Especialização em Ensino de Biologia, Especialização em Saúde Pública, Mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática.

^{1,2} Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente –ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Bogotá. Colombia. ³ YOLUKA ONG Fundación de Investigación en Biodiversidad y Conservación. ⁴ Instituto Federal do Ceará – IFCE. Jaguaribe –Ceará, Brasil.

myriam.ortega@unad.edu.co, jose.torres@unad.edu.co, jhon.infante@yoluka.org.co, cicero.carla@uol.com.br

Resumo

Cromatografia de afinidade é uma técnica usada para separar compostos, como, por exemplo, determinadas proteínas, que têm a capacidade de se ligar não covalentemente e reversivelmente a moléculas específicas conhecidas como ligantes. Esse método difere das técnicas de cromatografia clássica devido a proteína conseguir ser separada com base em uma única propriedade bioquímica. Em cromatografia de afinidade, o ligante está ligado covalentemente à matriz, que deve ser quimicamente inerte, porosa e também ter uma variedade de grupos funcionais adequados para acoplamento com ligantes diferentes. Várias matrizes e ligantes são usados em cromatografia de afinidade, dependendo da proteína a ser purificada. Esse trabalho descreverá alguns aspectos importantes para o isolamento de lectinas através da técnica de cromatografia de afinidade utilizando-se carboidratos.

Palavras-chave: proteínas, lectinas, carboidratos, isolectinas, cromatografia.

Resumen

La cromatografía de afinidad es una técnica utilizada para separar compuestos de muestras complejas, tales como ciertas proteínas, que tienen la capacidad de unirse de forma reversible y no covalente con moléculas específicas conocidas como ligando. Este método difiere de las técnicas de cromatografía clásicas de proteína para realizar el aislamiento en la base de una única propiedad bioquímica. En la cromatografía de afinidad el ligando se une covalentemente a la matriz, que debe ser químicamente inerte, porosa y, además, tener una variedad de grupos funcionales adecuados para el acoplamiento con diferentes enlazadores. Varias matrices y condiciones se utilizan en cromatografía de afinidad, dependiendo de la proteína a purificar. Este artículo

de investigación describe algunos aspectos importantes para aislar lectinas por cromatografía de afinidad utilizando carbohidratos.

Palabras clave: proteínas, lectinas, carbohidratos, isolectinas, cromatografía.

Abstract

Affinity chromatography is a technique used to separate compounds from complex samples, such as certain proteins, that have the ability to bind reversibly and non-covalently with specific molecules known as ligands. This method differs from classical protein

chromatography techniques by performing isolation at the base of a single biochemical property. In affinity chromatography the ligand is covalently bound to the matrix, which must be chemically inert, porous and, furthermore, have a variety of functional groups suitable for coupling with different linkers. Several matrices and conditions are used in affinity chromatography, depending on the protein to be purified. This paper describes some important aspects for isolating lectins by affinity chromatography using carbohydrates.

Key-words: proteins, lectins, carbohydrates, isolectin, Chromatography.

Introdução

Os métodos de separação de misturas de diferentes componentes mediante a utilização de fases são conhecidos como cromatografia (Cardona & Muñoz, 2016). O início da utilização da cromatografia como método de separação data de 1903, ocorrendo o seu posterior desenvolvimento e evolução a partir de 1930. A primeira pessoa a definir o termo cromatografia foi o botânico russo Miguel Tswett (1872-1913) no ano de 1906, escolhendo esse termo das palavras gregas *khromatos* (cor) e *graphein* (escrita) para descrever a separação dos pigmentos de plantas em diferentes zonas coloridas. Atualmente, o termo cromatografia tem sido utilizado para o isolamento também de compostos incolores, permitindo o isolamento de proteínas através de sua afinidade por outras biomoléculas. Esse trabalho tem como objetivo demonstrar a importância da cromatografia de afinidade para o isolamento de lectinas.

Características das lectinas importantes para seu isolamento

As lectinas são um grupo de proteínas que tem como característica principal a capacidade de ligar-se a carbohidratos (Micucci & Camps, 1987). Elas estão presentes em todos os organismos, o que sugere que desempenham diversas funções biológicas básicas, tais como regulação, adesiva, defesa contra patógenos, dentre outras. (Varki *et al.*, 2009). Um organismo apresenta, normalmente, um número de

diferentes lectinas presentes em várias isoformas, chamadas isolectinas (Van Damme *et al.*, 1998). As isolectinas se diferenciam na sua estrutura primária, apresentando pequenas variações nessa estrutura, e na especificidade de ligação ao carboidrato, podendo apresentar diferenças em suas atividades biológicas (Leavitt *et al.*, 1977). Portanto, ao se isolar uma lectina também é importante pensar nas suas isolectinas.

A estrutura geral das lectinas permite a sua classificação em três grandes grupos. O primeiro representado pelas Merolectinas que apresentam um único domínio de ligação de hidrato de carbono. O segundo representado pelas Hololectinas que apresentam dois ou mais domínios de ligação de hidratos de carbono. O terceiro representado pela Quimerolectina que contém domínios adicionais não-lectínicos, geralmente catalíticos (Peumans & Van Damme, 1995). A maioria das lectinas apresentam múltiplos locais de ligação que podem ser úteis em associações de entrecruzamento com glicorreceptores específicos na superfície da célula (Geijtenbeek & Gringhuis, 2016). Lectinas também atuam como moléculas de reconhecimento nas interações de molécula-célula (Brown, Crocker, 2016), célula-célula (Geijtenbeek & Gringhuis, 2016) e estão envolvidas em processos celulares, incluindo adesão,

migração, diferenciação, proliferação e apoptose (Huang et al., 2017). Além disso, muitas lectinas ativam respostas fisiológicas diversas em vários organismos e possuem propriedades imunomoduladoras, apresentando funções potenciais no câncer e na metástase (Perillo et al., 1998; Sharon & Lis, 1989, Wu et al., 2017), o que as torna potencialmente úteis em aplicações biotecnológicas e biomédicas.

A ligação entre as lectinas e os carboidratos caracterizam-se pelo fato de serem não covalentes e reversíveis, sendo realizadas por interações hidrofóbicas, ligações de hidrogênio, interações eletrostáticas, interações de van der Waals e atração dipolo (Lehr, 2000). A ligação entre os açúcares -mono e dissacarídeos- e a lectina é relativamente fraca, com constantes de dissociação expressas em micromolar ou milimolar. Por outro lado, as interações multivalentes da lectinas com complexos ramificados de hidratos de carbono resultam em ligações mais fortes com constantes de dissociação expressas em nanomolares ou mesmo picomolares (Varki et al., 2008).

Em geral, as lectinas possuem propriedades bioquímicas e de ligação, que são muito convenientes para sua purificação por cromatografia de afinidade utilizando carboidratos. Elas não reagem cataliticamente com eles, ao menos que a lectina tenha um subdomínio glicosidase catalítico. Como observado anteriormente, as lectinas se ligam aos hidratos de carbono de forma não covalente e reversível. Os ligantes mais utilizados para o isolamento das lectinas, são mono e dissacarídeos, que ligados de forma relativamente fraca, a essas proteínas são prontamente libertados de uma coluna de afinidade por eluição competitiva usando hidratos de carbono específicos livres (Moreira et al., 1997; Moreira & Perrone, 1975). Além disso, as lectinas e carboidratos são compostos geralmente estáveis, portanto eluição utilizando técnicas de condições extremas de pH e / ou força iônica podem também ser aplicados para libertar uma lectina a partir da coluna de afinidade (Vega & Perez, 2006).

Qualquer fonte de interesse pode ser selecionada para o isolamento de lectinas, de seres humanos e outros animais, a plantas, fungos, bactérias e até mesmo os vírus (Procópio et al., 2017). Em primeiro lugar, uma lectina deve ser liberada a partir da fonte em solução, geralmente por liberação a partir das células. Vários métodos podem ser utilizados, dependendo sobre as características mecânicas do tecido de origem, como por homogeneização por ruptura mecânica ou por lise (Voet e Voet, 1995). As lectinas são proteínas solúveis em água, portanto, são extraídas com tampões aquosos e salinos.

A extração da lectina de interesse deve ser realizada a 4 ° C para evitar a sua desnaturação e degradação por enzimas proteolíticas. A adição de inibidores de protease no tampão de extração é recomendado se a atividade proteolítica é observada no extrato (Kvennefors et al, 2008; Matsumoto et al, 2011; Watanabe et al, 2007), apesar de algumas lectinas encontradas serem bastante resistentes à degradação proteolítica (Pohleven et al., 2009). Inibidores de glicosidase, tais como o inibidor de glicosidase -desoxinojirimicina (0,2 mM) e do inibidor da manosidase -deoxymannojirimicin (0,2mM), também podem ser adicionados ao extrato para impedir a clivagem de hidratos de carbono imobilizados na coluna de afinidade (Watanabe et al., 2007). Antes do extrato ser aplicado a coluna de afinidade, algumas impurezas podem ser removidas usando precipitação fracionada com sulfato de amônio e / ou de outras técnicas cromatográficas clássicas. As frações de lectina podem ser monitoradas em todo o processo de purificação acompanhando-se a sua atividade hemoaglutinante, para isso utiliza-se de eritrócitos específicos, visto que, só as células vermelhas com glicanos lectinas específicas são aglutinados. (Cavalcante et al., 2016).

Isolamento de Lectinas através da técnica de Cromatografia de Afinidade

Uma vez preparado o extrato que exhibe atividade de hemoaglutinação, o método de cromatografia de afinidade de hidratos de carbono adequado para a purificação da lectina deve ser selecionado. Isso envolve o adsorvente que pode se ligar a lectina e separá-lo a partir do extrato, e de uma técnica

de eluição que possa liberar a lectina ligada a coluna. Por conseguinte, é importante conhecer a especificidade e estabilidade da lectina e também examinar a estabilidade do adsorvente, extremos de pH e temperatura podem ser utilizados para o acoplamento do ligante com o agente de eluição (Melgarejo *et al.*, 2005). A especificidade da lectina desejada em um extrato pode ser determinada através da análise da sua atividade de aglutinação, utilizando várias classes de eritrócitos que expõem diversos glicanos em suas superfícies. Por exemplo, no sistema ABO, o grupo sanguíneo humano A expressa a forma não redutora do carboidrato N-acetilgalactosamina, o grupo B, expressa galactose e o grupo O expressa fucosil-galactose (Schenkel-Brunner, 2007). Além disso, a inibição a aglutinação utilizando vários hidratos de carbono ou glicoproteínas, pode ser usado para determinar a especificidade da lectina, permitindo que o adsorvente lectina específica possa ser selecionado. A estabilidade da lectina pode ser avaliada examinando-se a atividade de aglutinação do extrato. No entanto, diversas observações (Moreira *et al.*, 1997), sugerem que a lectina de um extrato é mais estável do que a isolada, provavelmente pela importância dos açúcares no contexto molecular da proteína (Abrantes *et al.*, 2013).

Dependendo do ligante e do adsorvente, pode-se utilizar as técnicas de eluição competitiva ou eluição a diferentes pH e / ou força iônica para que a lectina ligada a coluna de afinidade seja liberada. Ao escolher a técnica mais apropriada para desadsorver uma lectina ligada, a especificidade, a sua estabilidade, e o tipo de adsorvente, isto é açúcar ou polissacarídeo complexo, devem ser considerados. Quando um monossacarídeo ou dissacarídeo é usado como um ligante, a lectina é facilmente liberada da coluna de afinidade por eluição competitiva, para isso devem ser utilizados hidratos de carbono específicos com maior afinidade para a lectina do que o adsorbente (Moreira & Perrone, 1975).

A maioria dos autores relatam o uso de eluição competitiva de lectinas utilizando mono ou dissacarídeo específico. Por exemplo, quando uma lectina foi isolada em Sepharose, galactose foi utilizado

para a dessorção (Cao *et al.*, 2010; DeSimone *et al.*, 2006), enquanto que a glucose foi utilizada com Sephadex (Rittidach *et al.*, 2007; Sun *et al.*, 2007). As concentrações de açúcares utilizados são geralmente de 0,2 M (variando entre 0,01 - 0,5 M), enquanto que os gradientes de açúcar também têm sido utilizados (Cammarata *et al.*, 2007; Mansour & Abdul-Salam, 2009). Posteriormente, estas lectinas associadas a açúcares devem ser tratadas para libertar seus sítios de ligação, geralmente por diálise (Vega & Pérez, 2006). Alternativamente, a fim de evitar o último passo, as lectinas podem ser dessorvidas da coluna com alteração das condições a extremos de pH ou de força iônica (Vega & Pérez, 2006). Esta última técnica depende da estabilidade química das substâncias ligantes da matriz e adsorvida e não é adequado para lectinas e adsorventes que são destruídos em tais condições (Vega & Pérez, 2006). Apesar dos hidratos de carbono e lectinas, geralmente, serem moléculas estáveis, é preciso ter cuidado para não danificá-las de forma irreversível (Obando, Barahona & Chamorro, 2014). As frações contendo as proteínas devem ser neutralizados imediatamente, geralmente com 2 M ou 1 M de Tris-HCl, pH 7,5 (Vega & Pérez, 2006). A coluna também deve ser equilibrada com o tampão de ligação. Quando oligo ou polissacarídeos ramificados com elevada avides para as lectinas são utilizados como adsorventes, as lectinas não podem ser prontamente eluídas utilizando açúcares monovalentes com menor afinidade para lectinas. Neste caso, devem ser utilizados pH extremo e / ou condições de força iônica. Vários autores relataram a eluição de lectinas utilizando ácidos (20-100 mM de glicina-HCl ou alanina, pH 2,5, ou 1-3% de ácido acético) (Kaur *et al.*, 2006) ou bases (NaOH 10 mM, trietanolamina 0,1 M, pH 11, ou Tris-OH tampão de pH 11,4 (Vega & Pérez, 2006), assim como soluções de tampões contendo NaCl 1 M e 3 M de MgCl₂ (gradiente foi também utilizado) (Naganuma *et al.*, 2006). Em alguns casos, as lectinas foram eluídas utilizando 6 M (Matsumoto *et al.*, 2011) ou 8M de Ureia (Suseelan *et al.*, 2002). A atividade de ligação da lectina para carboidratos pode depender de íons metálicos bivalentes tal como acontece com as lectinas tipo C (Gringhuis *et al.*, 2007; Den Dunnen *et al.*,

2008), que podem ser eluídas utilizando tampões contendo agentes quelantes, tais como 2-100 mM de ácido etilendiaminotetracético (EDTA) (Ourth *et al.*, 2005).

Outros métodos para a purificação de lectinas

Além de cromatografia de afinidade com os carboidratos, outros métodos têm sido utilizados para purificar lectinas. Algumas lectinas foram purificadas utilizando precipitação fracionada com sulfato de amônio como sal precipitante como indica Oliveira *et al.* (2002) e Vence *et al.* (2012), seguido por métodos clássicos, tais como cromatografia de troca iônica e cromatografia de filtração em gel (Horibe *et al.*, 2010; Pan *et al.*, 2010). As lectinas são geralmente glicoproteínas, portanto, alguns autores descrevem seu isolamento por cromatografia de afinidade a partir da utilização das lectinas na captura de outra, por exemplo, a Concanavalina A é frequentemente imobilizada para isolar outras lectinas (Absar *et al.*, 2005.; Charungchittrak *et al.*, 2011; Konkumnerd *et al.*, 2010; Petnual *et al.*, 2010; Yan *et al.*, 2010). Além disso, pode-se trabalhar com partículas ferromagnéticas com polissacarídeo imobilizado preparados para o isolamento de lectinas (Porter *et al.*, 1998). As propriedades magnéticas das partículas favorecem a lavagem das impurezas utilizando um campo magnético, e os açúcares são utilizados para libertar as lectinas e recuperar as partículas (Angeli *et al.*, 2009; Kavunja *et al.*, 2015). Um novo método para a purificação cromatográfica de afinidade de lectinas é a utilização de membranas com nanofibras glicosiladas, no qual, uma membrana de afinidade com glicose imobilizada mostrou forte e reversível capacidade para isolar lectinas (Che *et al.*, 2011).

Conclusões

Pode-se concluir que a cromatografia de afinidade com carboidratos é, o método mais amplamente utilizado para a purificação de lectinas, apresentando-se como um método simples que tira proveito de suas propriedades específicas. No entanto, não existe um protocolo de aplicação geral e a seleção da matriz de ligação mais apropriada, da técnica de

eluição e da ativação da matriz podem ser difíceis, devendo ser selecionadas de acordo com cada tipo de lectina que se pretende isolar.

Literatura citada

1. Abrantes, V. E. F., Matias da Rocha, B. A., Batista da Nóbrega, R., Silva-Filho, J. C., Teixeira, C. S., Cavada, B. S., ... Delatorre, P. (2013). Molecular Modeling of Lectin-Like Protein from *Acacia farnesiana* Reveals a Possible Anti-Inflammatory Mechanism in Carrageenan-Induced Inflammation. *BioMed Research International*, 2013, 253483. <http://doi.org/10.1155/2013/253483>
2. Absar, N., Yeasmin, T., Raza, M. S., Sarkar, S. K. & Arisaka, F. (2005). Single Step Purification, Characterization and N-Terminal Sequences of a Mannose Specific Lectin from Mulberry Seeds. *The Protein Journal*, 24(6), 369-377.
3. Angeli, R., da Paz, N. V. N., Maciel, J. C., Araújo, F. F. B., Paiva, P. M. G., Calazans, G. M. T., Valente, A. P., Almeida, F. C. L., Coelho, L. C. B. B., Carvalho Jr., L. B., Silva, M. d. P. C. & Correia, M. T. d. S. (2009). Ferromagnetic Levan Composite: An Affinity Matrix to Purify Lectin. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, 2009 (179106), 1110-1143.
4. Brown, G. & Crocker, P. (2016). Lectin Receptors Expressed on Myeloid Cells. *Microbiol Spectr*, 4(5): doi: 10.1128/microbiolspec.MCHD-0036-2016.
5. Cammarata, M., Benenati, G., Odom, E. W., Salerno, G., Vizzini, A., Vasta, G. R. & Parrinello, N. (2007). Isolation and characterization of a fish F-type lectin from gilt head bream (*Sparus aurata*) serum. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1770 (1), 150-155.
6. Cao, X., Huo, Z., Lu, M., Mao, D., Zhao, Q., Xu, C., Wang, C. & Zeng, B. (2010). Purification of lectina from larvae of the fly, *Musca domestica*, and in vitro anti-tumor activity in MCF-7 Cells. *Journal of Insect Science*, 10 (164), 1-13.
7. Cardona, J. & Muñoz, J. (2016). Phytochemical variability between Colombian accessions of *Lippia alba* (Mill.) N.E. Brown. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7 (2) julio-diciembre, 39-49. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1556/1903>
8. Cavalcante, M., Torres-Romero, J., Lobo, M., Moreno, F., Bezerra, L., Lima, D., Matos, J., Moreira, R. & Monteiro-Moreira, A. (2016). A panel of glycoproteins as candidate biomarkers for early diagnosis and treatment evaluation of B-cell acute lymphoblastic leukemia. *Biomark Res*, 27;4:1. doi: 10.1186/s40364-016-0055-6. eCollection 2016.
9. Charungchittrak, S., Petsom, A., Sangvanich, P. & Karnchanat, A. (2011). Antifungal and antibacterial activities of lectin from the seeds of *Archidendron jiringa* Nielsen. *Food Chemistry*, 126 (3), 1025-1032.

10. Che, A.-F., Huang, X.-J. & Xu, Z.-K. (2011). Polyacrylonitrile-based nanofibrous membrane with glycosylated surface for lectin affinity adsorption. *Journal of Membrane Science*, 366 (1-2), 272-277.
11. Den dunnen, j. *et al.* (2008). Innate signaling by C-type lectin DC-sign dictates immune responses. *Cancer immunol immunother*, 26:605-610.
12. De-Simone, S. G., Netto, C. C. & Silva Jr., F. P. (2006). Simple affinity chromatographic procedure to purify galactoside binding lectins. *Journal of Chromatography B*, 838 (2), 135-138.
13. Geijtenbeek, T. & Gringhuis, S. (2016). C-type lectin receptors in the control of T helper cell differentiation. *Nature Reviews Immunology*, 16: 433-44.
14. Gringhuis, s. *et al.* (2007). C-type lectin DC-Sign modulates toll-like receptor signaling via raf-1 kinase-dependent acetylation of transcription factor NF-κB. *Immunity*, 26(5): 605-616.
15. Horibe, M., Kobayashi, Y., Dohra, H., Morita, T., Murata, T., Usui, T., Nakamura-Tsuruta, S., Kamei, M., Hirabayashi, J., Matsuura, M., Yamada, M., Saikawa, Y., Hashimoto, K., Nakata, M. & Kawagishi, H. (2010). Toxic isolectins from the mushroom *Boletus venenatus*. *Phytochemistry*, 71 (5-6), 648-657.
16. Huang, M., Wang, L., Zhang, H., Yang, C., Liu, R., Xu, J., Jia, Z. & Song, L. (2017). The sequence variation and functional differentiation of CRDs in a scallop multiple CRDs containing lectin. *Developmental & Comparative Immunology*, 67: 333-339.
17. Kaur, M., Singh, K., Rup, P. J., Kamboj, S. S., Saxena, A. K., Sharma, M., Bhagat, M., Sood, S. K. & Singh, J. (2006). A Tuber Lectin from *Arisaema jacquemontii* Blume with Antiinsect and Anti proliferative Properties. *Journal of Biochemistry and Molecular Biology*, 39 (4), 432-440.
18. Kavunja, H., Voss, P., Wang, J. & Huang, X. (2015). Identification of lectins from metastatic cancer cells through magnetic glyconanoparticles. *Israel journal of chemistry*, 55(3-4): 423-436.
19. Konkumnerd, W., Karnchanatat, A. & Sangvanich, P. (2010). A thermostable lectin from the rhizomes of *Kaempferia parviflora*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90 (11), 1920-1925.
20. Kvennefors, E. C. E., Leggat, W., Hoegh-Guldberg, O., Degnan, B. M. & Barnes, A. C. (2008). An ancient and variable mannose-binding lectin from the coral *Acropora millepora* binds both pathogens and symbionts. *Developmental and Comparative Immunology*, 32 (12), 1582-1592.
21. Leavitt, R., Felsted, R. & Bachur, N. (1977). Biological and biochemical properties of *Phaseolus vulgaris* isolectins. *J Biol Chem*, 10(9):2961-2966.
22. Lehr, C. (2000). Lectine-mediated drug delivery: The second generation of bioadhesives, *Journal of Controlled Release*, 65: 19.
23. Mansour, M. H. & Abdul-Salam, F. (2009). Characterization of fucosebinding lectins in rock- and mud-dwelling snails inhabiting Kuwait Bay. *Immunobiology*, 214 (1), 77-85.
24. Matsumoto, R., Shibata, T. F., Kohtsuka, H., Sekifuji, M., Sugii, N., Nakajima, H., Kojima, N., Fujii, Y., Kaw-sar, S. M. A., Yasumitsu, H., Hamako, J., Matsui, T. & Ozeki, Y. (2011). Glycomics of a novel type-2 N-acetyllactosaminespecific lectin purified from the feather star, *Oxycomanthus japonicus* (Pelmatozoa: Crinoidea). *Comparative Biochemistry and Physiology, Part B*, 158 (4), 266-273.
25. Melgarejo, L., Vega, N. & Perez, G. (2005). Isolation and characterization of novel lectins from *Canavalia ensiformis* and *dioclea grandiflora* mart. ex benth. seeds. *braz. j. plant physiol*, 17(3):315-324.
26. Micucci, H. & Camps, E. (1987). Lectinas: Obtención, Estructura Química, Propiedades y Aplicaciones Diagnósticas y Farmacológicas. *Acta Farm*, 6(1):35-54.
27. Moreira, R. & Perrone, J. (1975). Purification and partial characterization of a lectin from the seeds of *Phaseolus vulgaris*. *Plant Physiology*, 59: 783-787.
28. Moreira, R., Monteiro, A., Horta, A., Oliveira, J. & Cavada, B. (1997). Isolation and characterization of *Dioclea altissima* var. *megacarpa* seed lectin. *Phytochemistry*, 46: 139-144.
29. Naganuma, T., Ogawa, T., Hirabayashi, J., Kasai, K., Kamiya, H. & Muramoto, K. (2006). Isolation, characterization and molecular evolution of a novel pearl shell lectina from a marine bivalve, *Pteria penguin*. *Molecular Diversity*, 10 (4): 607-618.
30. Obando, A., Barahona, R. & Chamorro, D. (2014). Producción de dos cepas de *Frankia* sp. aisladas de *Alnus acuminata* H.B.K. por fermentación fed-batch. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5 (1) enero-junio, 81-92. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/925/916>
31. Oliveira, S., Nascimento, A., lima, M. , leite, Y. & Benevides, N. (2002). Purification and characterisation of a lectin from the red marine alga *Pterocladia capillacea* (s.g. gmel.) santel. & hommrs. *Revista brasil. bot.*, 25 (4): 397-403.
32. Ourth, D. D., Narra, M. B. & Chung, K. T. (2005). Isolation of mannosebinding C-type lectina from *Heliothis virescens* pupae. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 335 (4), 1085-1089.
33. Pan, S., Tang, J. & Gu, X. (2010). Isolation and characterization of a novel fucose-binding lectin from the gill of bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *Veterinary Immunology and Immunopathology*, 133 (2-4), 154-164.
34. Perillo, N. L., Marcus, M. E. & Baum, L. G. (1998). Gallectins: versatile modulators of cell adhesion, cell proliferation, and cell death. *Journal of Molecular Medicine*, 76 (6), 402-412.
35. Petnual, P., Sangvanich, P. & Karnchanatat, A. (2010). A lectin from the rhizomes of turmeric (*Curcuma longa* L.) and its antifungal, antibacterial, and glucosidase inhibitory activities. *Food Science and Biotechnology*, 19 (4), 907-916.
36. Peumans, W. J. & Van Damme, E. J. M. (1995). Lectins as plant defense proteins. *Plant Physiology*, 109 (2): 347-352.

37. Pohleven, J., Obermajer, N., Sabotič, J., Anžlovar, S., Sepčić, K., Kos, J., Kralj, B., Štrukelj, B. & Brzin, J. (2009). Purification, characterization and cloning of a ricin B-like lectina from mushroom *Clitocybe nebularis* with antiproliferative activity against human leukemic T cells. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1790 (3), 173-181.
38. Porter, J., Robinson, J., Pickup, R. & Edward, E. (1998). An evaluation of lectin-mediated magnetic bead cell sorting for the targeted separation of enteric bacteria. *Journal of applied microbiology*, 84:722-732.
39. Procópio, T., Moura, C., Albuquerque, P., Gomes, F. S., Santos, N., Coelho, L., ... & Napoleão, T. (2017). Antibacterial lectins: action mechanisms, defensive roles and biotechnological potential. *Antibacterials: Synthesis, Properties and Biological Activities*, Nova Science Publishers Inc., New York, 69-89.
40. Rittidach, W., Pajit, N. & Utarabhand, P. (2007). Purification and characterization of a lectina from the banana shrimp *Fenneropenaeus merguensis* hemolymph. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1770 (1): 106-114.
41. Schenkel-Brunner, H. (2007). Blood group antigens, In: *Comprehensive Glycoscience*, Kamerling, J. P., Lee, Y. C., Boons, G.-J., Suzuki, A., Taniguchi, N. & Voragen, A. G. J., pp. (343-372), Elsevier, 978-044-452-746-2, Oxford.
42. Sharon, N. & Lis, H. (1989). Lectins as cell recognition molecules. *Science*, 246 (4927), 227-234.
43. Sun, J., Wang, L., Wang, B., Guo, Z., Liu, M., Jiang, K. & Luo, Z. (2007). Purification and characterisation of a natural lectin from the serum of the shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Fish and Shellfish Immunology*, 23 (2), 292-299.
44. Suseelan, K. N., Mitra, R., Pandey, R., Sainis, K. B. & Krishna, T. G. (2002). Purification and characterization of a lectin from wild sunflower (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 407 (2), 241- 247.
45. Van Damme, E. J. M., Peumans, W. J., Pusztai, A. & Bardocz, S. (February 25, 1998). *Handbook of plant lectins: Properties and biomedical applications*, John Wiley & Sons, 978-047-196-445-2, New York.
46. Varki, A., Cummings, R. D., Esko, J. D., Freeze, H. H., Stanley, P., Bertozzi, C. R., Hart, G. W. & Etzler, M. E. (Eds.). (October 15, 2008). *Essentials of glycobiology*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, 978-087-969-770-9, New York.
47. Vega, N. & Pérez, G. (2006). Isolation and characterization of a *Salvia bogotensis* seed lectina specific for the Tn antigen. *Phytochemistry*, 67 (4), 347- 355.
48. Vence, L., Rivera, M., Osorio, Y. & Castillo, A. (2012). Caracterización microbiológica y fisicoquímica de aguas subterráneas de los municipios de La Paz y San Diego, Cesar, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3 (2) julio-diciembre, 27-35. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/953/948>
49. Voet, D. & Voet, J. G. (January 15, 1995). *Biochemistry* (Second Edition), John Wiley & Sons, 0- 471-58651-X, New York.
50. Watanabe, T., Matsuo, I., Maruyama, J.-i., Kitamoto, K. & Ito, Y. (2007). Identification and Characterization of an Intracellular Lectin, Calnexin, from *Aspergillus oryzae* Using N-Glycan Conjugated Beads. *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*, 71 (11), 2688-2696.
51. Wu, B., Mei, S., Cui, L., Zhao, Z., Chen, J., Wu, T. & Li, G. (2017). Marine Lectins DIFBL and HddSBL Fused with Soluble Coxsackie-Adenovirus Receptor Facilitate Adenovirus Infection in Cancer Cells BUT Have Different Effects on Cell Survival. *Mar. Drugs*, 15(73):1 – 13.
52. Yan, Q., Zhu, L., Kumar, N., Jiang, Z. & Huang, L. (2010). Characterisation of a novel monomeric lectin (AML) from *Astragalus membranaceus* with antiproliferative activity. *Food Chemistry*, 122 (3), 589-595.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: agosto 04 de 2016
Aceptado: agosto 26 de 2016

Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia

Bioprospecting of fungi mycorrhizal mycorrhizal as an alternative for the strengthening of the cultivation of avocado (*Persea americana* Miller) in Colombia

*Bioprospecção fungos micorrízicos arbusculares como uma alternativa para fortalecer o cultivo de abacate (*Persea americana* Miller) na Colômbia*

Sandra Patricia Montenegro Gómez¹, Silvia Eugenia Barrera Berdugo² & Carlos Mario Valencia³

¹Licenciada en Biología y Química. Especialista en manejo y conservación de suelos y aguas. Magister en ciencias agrarias, énfasis suelos. Doctora en Ciencias área de concentración microbiología Agrícola.

²Bióloga, Magister y Doctora en Ciencias, énfasis en suelos y nutrición de plantas, área de concentración microbiología del suelo. ³Agrónomo, Especialista en Biotecnología Agraria

¹ Centro de Investigación de Agricultura y Biotecnología-CIAB. Dosquebradas. Risaralda. Colombia.

²Grupo de Investigación en Ecofisiología Vegetal & Ecosistemas Terrestres- Universidad Industrial de Santander-UIS. ³Gobernación de Antioquia.

¹sandra.montenegro@unad.edu.co, ²silviaebarrerab@gmail.com, ³carlos.valencia@antioquia.gov.co

Resumen

El Aguacate (*Persea americana* Miller) es uno de los frutos de mayor consumo mundial. México es el principal productor y actualmente afronta problemas como el ataque de patógenos a la raíz y recientemente se han registrado impactos en la salud humana por uso de agroquímicos. Una alternativa para afrontar problemáticas en el desarrollo de las plantas ha sido iniciar el correcto manejo de las primeras etapas de producción y con ello mitigar problemas posteriores, en este manejo los microorganismos juegan un papel fundamental. Uno de los métodos es la inoculación con microorganismos del suelo como los hongos micorrízicos arbusculares (HMA);

diversos estudios han demostrado que su colonización radicular en las plantas contribuye con la absorción de agua y nutrientes; lo cual indica que su potencialización puede contribuir en el manejo sustentable de los cultivos y como opción para fortalecer la producción. Colombia ocupa el quinto lugar en productividad a nivel mundial y lo que más resta competitividad local es el costo de los agroinsumos; en este sentido se podrían fortalecer investigaciones encaminadas a la bioprospección de HMA específicos para diversas variedades de aguacate en las regiones colombianas, ya que son poco los avances en esta temática. Avanzar tecnológicamente en el

manejo de cultivos y generar estrategias sostenibles hace parte de las perspectivas y retos de la cadena del aguacate en Colombia. Adicionalmente es prioritario entrar en la dinámica de la demanda mundial con preferencia de alimentos más sanos y cuya producción sea amigable con el medio ambiente.

Palabras clave: Hongos micorrízicos arbusculares, Aguacate (*Persea americana*, Miller). Bioprospección, sustentabilidad.

Abstract

Avocado (*Persea americana* Miller) is one of the most consumed fruits in the world. Mexico is the main producer of avocado and currently Mexico faces problems such as the attack of pathogens to the root and recently there have been impacts to human health by the use of agrochemicals. An alternative to deal with problems in the development of plants has been to start the correct management of the first stages of production and with that to mitigate later problems, in this management microorganisms play a fundamental role. The inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) is an important method. Several studies have shown that the root colonization in plants help to the absorption of water and nutrients. It indicates that the AMF can contribute to the sustainable management of crops as an option to strengthen production. Although Colombia is the top 5 of productivity in the world level, local competitiveness is the cost of agro-inputs. To the other hand, the research aiming to bioprospection of AMF specific for avocado varieties in Colombian regions, is necessary and could be strengthened this field because of it is little know currently about advances in this theme and its influence on the strengthening of Colombian agriculture. Advancing in the crop management and generating sustainable strategies are the perspectives and challenges for the chain of avocado in Colombia. Indeed, it is a priority to get in at the dynamics of global demands preferring healthier food and friendly production to the environment.

Key-words: Arbuscular mycorrhizal fungi, Avocado (*Persea americana*, Miller). Bioprospecting, sustainability.

Resumo

Abacate (*Persea americana*, Miller) é uma das frutas mais consumidas no mundo. México é o maior produtor e atualmente passa por problemas como o ataque de patógenos na raiz e recentemente tem-se encontrado que afeta a saúde humana pelo uso de agroquímicos. Uma alternativa para resolver os problemas no desenvolvimento das plantas foi iniciar com o tratamento correto nos estágios iniciais de produção e, assim, mitigar problemas posteriores. É aqui que os microorganismos desempenham um papel fundamental. Um método é a inoculação com microrganismos do solo como os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estudos têm mostrado que a colonização da raiz contribui na absorção de água e nutrientes; indicando que potencializar seu uso pode contribuir para uma gestão agrícola sustentável e assim fortalecer a produção. Por outro lado, Colômbia ocupa o quinto lugar em produtividade no mundo e que mais resta na competitividade local é o custo dos insumos agrícolas; com relação a isto, deve-se fortalecer a pesquisa de bioprospeção em FMA específicos para diversas variedades de abacate nas regiões colombianas, porque na atualidade, sabe-se pouco sobre os avanços neste tema e sua influência sobre o fortalecimento da agricultura colombiana. Avançar tecnologicamente em manejo de culturas e gerar estratégias sustentáveis é parte das perspectivas e desafios da cadeia Colombiana do abacate. Além disso, é uma prioridade para a dinâmica da demanda global de alimentos de preferência mais saudáveis visando uma produção ambientalmente amigável.

Palavras-chave: Fungos micorrízicos arbusculares, Abacate (*Persea americana*, Miller). Bioprospeção, sustentabilidade.

Introducción

El aguacate (*Persea americana*, Miller) es un fruto de gran consumo mundial, con un comercio dinámico y en crecimiento. Colombia se ubica entre los cinco primeros lugares de producción de acuerdo a datos registrados por la FAO STAT hasta el año 2014, con producción anual de 288.739 t. México ocupa el primer lugar con 1.520.695 t, este país también ocupa el primer lugar mundial en consumo *per capita* y exportación (Bárceñas *et al.*, 2011). Pese a su privilegiada ubicación, México afronta problemas de producción, como el ataque de patógenos a la raíz (Graham, 2001; Morales-García, 2009, Contreras, 2012) e impactos sobre la salud humana por uso de agroquímicos (El financiero, 2016). Una alternativa para afrontar algunas de las problemáticas ha sido iniciar el correcto manejo de las primeras etapas de producción y con ello mitigar problemas posteriores, en este manejo los microorganismos juegan un papel fundamental. Uno de los métodos es la inoculación con microorganismos del suelo, como los hongos micorriza arbuscular HMA, (Contreras, 2012). Diversos estudios han demostrado que HMA además de favorecer la absorción y aprovechamiento de los nutrimentos del suelo en estas plantas, incrementan su tasa fotosintética y promueven aumento del crecimiento y mejora en la salud de las mismas. (Menge *et al.*, 1980; Azcón-Aguilar *et al.*, 1992; Bárceñas *et al.*, 2011). El papel de los HMA junto a microorganismos solubilizadores de fosfato ha dado buenos resultados en plantaciones de aguacate en otros países como Chile, Brasil y Estados Unidos (Thies & Grossman, 2006).

Factores como la especie vegetal y el tipo de suelo pueden influir en el establecimiento de la asociación HMA vs planta, así como otros factores bióticos o abióticos, por lo tanto investigaciones al respecto, deben direccionarse hacia poblaciones de HMA nativas, ya que puede existir adaptación y/o restricciones por factores locales que en algún momento podrían transformar esta relación comúnmente mutualista en una relación parasitaria (Lasso-Rivas, 2015). Tanto poblaciones nativas como foráneas de hongos micorrizicos arbusculares han sido usadas

en la agricultura como inoculantes biológicos. Ejemplos donde se evalúa el efecto de inóculos comerciales en diferentes cultivos son abundantes (Motta & Munévar, 2005; Douds Jr *et al.*, 2007; Castillo *et al.*, 2009; Fernandez *et al.*, 2011), observándose un efecto positivo en la planta derivado de la interacción con el hongo, y aunque suelo con esporas y propágulos es usado como inóculo, otros productos como inóculos líquidos, usados principalmente en horticultura, actúan como inoculante de semillas o son aplicados alrededor del tallo (<http://mycorrhizae.com/mycoapply-products/liquid/mycoapply-liquid-endo/>).

Importancia de la interacción HMA y plantas de Aguacate

Los hongos micorrizicos desarrollan una extensa red de hifas en el suelo y ofrecen una eficiente transferencia horizontal de agua y nutrientes para las plantas a partir de áreas especializadas llamadas interfaces simbióticas que interactúan con la planta hospedera (Bonfante & Genre, 2010). Los mecanismos de interacción planta/hongo micorrizico están asociados a la especie de planta hospedera y a la estructura y función de los hongos, estos pueden ser ectomicorrizas ECM, micorrizas de orquídeas, ericoides y micorriza arbusculares MA (van der Heijden *et al.*, 2015). En la raíz las ECM forman un manto alrededor de la raíz y penetran de forma intercelular la corteza de la misma, se ha encontrado que colonizan un número menor de plantas en comparación con las MA, los cuales colonizan de forma inter e intracelular la corteza de la raíz, formando arbusculos, dentro de la célula vegetal (Figura 1). Los HMA interactúan simbióticamente con el 80% de las familias de plantas terrestres encontrándose en casi todos los ecosistemas terrestres (Smith & Read, 2008; Carreón-Abud *et al.*, 2013), generando una fuerte influencia sobre el crecimiento y la productividad vegetal (van der Heijden *et al.*, 2015). Por su parte la asociación simbiótica con la mayoría de las plantas de cultivo ha despertado gran interés en contextos agronómicos para el uso potencial de HMA en la producción sostenible con tendencia a la disminución en la aplicación de insumos químicos (Lanfranco *et al.*, 2016).

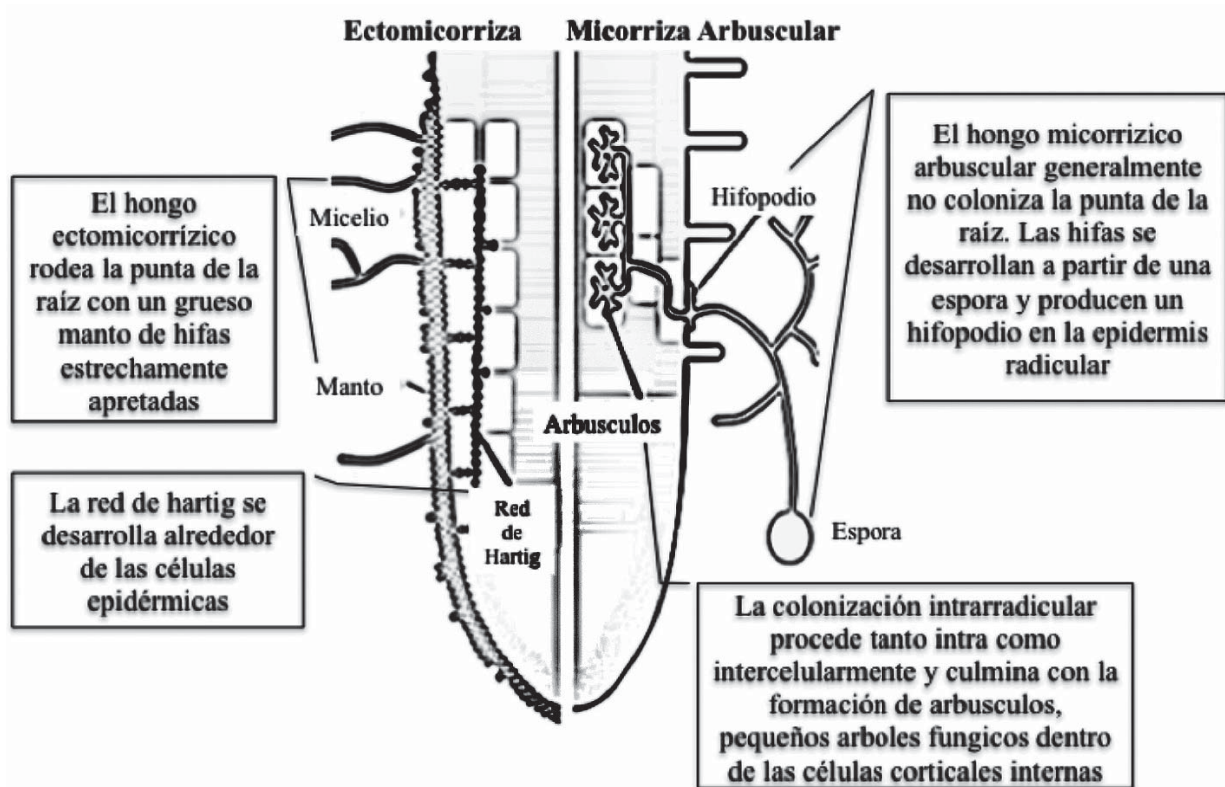



Figura 1. Ilustración de las estructuras de colonización de raíces en interacciones ectomicorrízicas (izquierda) y micorrízicas arbusculares (derecha). Fuente: Bonfante & Genre (2010).

Entre otros cultivos de interés agrícola, diversas leguminosas, cítricos, papaya, aguacate, manzana, mango, fresa y durazno han sido reportados por su interacción y resultados benéficos en desarrollo y productividad asociados a la presencia de HMA. En lo que respecta el aguacate; esta es una planta con pocos pelos absorbentes y la absorción de agua y nutrientes la realiza a través de tejidos primarios de las puntas de las raíces (Godínez *et al.*, 2000; Lavaire & Morazán, 2013), por lo tanto la asociación microbiológica aguacate/hongos micorrízicos, se convierte en un mecanismo que facilita la exploración del suelo por parte de esta planta de raíz pivotante y muy ramificada en los primeros 60 cm. (Whiley *et al.*, 1988a). Plantas con sistemas radiculares abundantes pero con pocos pelos absorbentes, como yuca, cebolla y cítricos, pueden ser altamente dependientes de la micorrización (Sánchez, 1999), mientras que plantas con un sistema radicular con abundantes raíces finas y pelos radiculares largos pueden ser poco dependientes de esta (Sieverding, 1991).

Desde la caracterización de un transportador de fosfato de alta afinidad, TP, en un HMA por Harrison & van Buuren (1995), la asociación simbiótica entre plantas y estos hongos ha sido objeto de estudio para el fortalecimiento en la toma de nutrientes en las planta y una alternativa para la fertilización agrícola sustentable, la cual complementada con otras prácticas de fertilización orgánica ha demostrado resultados muy favorables en transporte de P al interior de las plantas (Velez & Sánchez, 2014). Según lo reportado por Allen & Shachar-Hill (2009), Sieh *et al.* (2013) y Berruti (2015), el fosforo inorgánico -Pi-, N y S se pueden transferir a las plantas a través de HMA. Actualmente se sabe que existe asimilación de K⁺ derivado de la simbiosis HMA-planta, la cual podría estar relacionada con la tolerancia de la planta al estrés abiótico (García & Zimmermann, 2014; Berruti, 2015). Recientemente, se han publicado estudios de metanálisis, centrados en la respuesta de cultivos a la contribución de diferentes

concentraciones de micronutrientes provenientes de la interacción con HMA (Lehmann *et al.*, 2014; Lehmann & Rillig, 2015; Berruti, 2015). Los resultados muestran incrementos de Zn en tejidos de varias plantas de interés agrícola en diferentes ambientes (Lehmann *et al.*, 2014), un efecto positivo en la absorción de Cu (Lehmann & Rillig, 2015) y mejoramiento en la productividad y en el contenido nutricional de Fe y Zn en garbanzo *Cicer arietinum* (Pellegrino & Bedini, 2014).

De acuerdo a los planes de fertilización, de modo general la extracción de nutrientes en la fruta fresca del aguacate, en orden descendente sería la siguiente: Potasio (K_2O) > Nitrógeno(N) > Fósforo(P_2O_5) > Calcio(CaO) > Magnesio(MgO) > Azufre(S) (Bernal & Díaz, 2005). Algunos estudios revelan la efectividad de la asociación de la planta con HMAs. En la Tabla 1, se detallan algunas experiencias internacionales relevantes a nivel latinoamericano, donde México, como mayor productor del mundo lidera estudios basados en asociación de aguacate con HMA.

Tabla 1. Algunas experiencias internacionales relevantes a nivel latinoamericano en producción de  Aguacate asociado a HMA

Publicación	Autor/año	País
Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (<i>Persea americana</i> Miller) y selección de plantas trampa para su propagación	Carreón <i>et al.</i> (2016)	México
Interacción de inoculantes micorrízicos arbusculares y estiércol de pollo en la producción de portainjertos de aguacate	Carreón <i>et al.</i> (2015)	México
Inoculación micorrízico arbuscular en portainjertos de plantas de aguacate cv 'Hass' en viveros de Michoacán, México	Carreón <i>et al.</i> (2014)	México
Aislamiento y propagación de cultivos puros de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de huertas de aguacate con diferente manejo agrícola por la técnica de minirizotrófon.	Carreón-Abud <i>et al.</i> (2013)	México
Etapas óptimas de inoculación micorrízica en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i>)	Contreras, (2012)	México
Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza	Rivera <i>et al.</i> (2011)	Cuba
Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate (<i>Persea americana</i> , Miller) de Michoacán.	Bárceñas <i>et al.</i> (2011)	México
Elementos minerales y carbohidratos en plantones de aguacate (<i>Persea americana</i> Miller) 'carmen' inoculados con micorrizas arbusculares.	Da Silveira <i>et al.</i> (2003)	Brasil
Aplicación de vermicomposta y hongos micorrízicos en la producción de planta de aguacate en vivero.	Reyes <i>et al.</i> (2001)	México
Simbiosis Micorrízica y vermicomposta en el Desarrollo de Porta injertos de Aguacate crecidos en Sustratos Agrícola y Forestal.	Reyes <i>et al.</i> (2000)	México
Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en costa rica.	Blanco, <i>et al.</i> (1997).	Costa Rica

HMA y prospección productiva de aguacate en Colombia

El aguacate es una planta que se puede adaptar a diferentes condiciones climáticas. La producción de aguacate en Colombia pasó de tener una balanza comercial deficitaria en 2010 a ser superavitaria a partir del 2013. Los costos de producción también se han ido incrementado principalmente por el valor de los agroinsumos, que en síntesis es el componente que más resta competitividad en la fase productiva para la industria local (Minagricultura, 2015). Avanzar tecnológicamente en el manejo de cultivos

y generar estrategias sostenibles, hace parte de las perspectivas y retos de la cadena del aguacate en Colombia de acuerdo a Barreño (2014), en este sentido se podrían fortalecer investigaciones encaminadas a la bioprospección de HMA específicos para diversas variedades de aguacate en las regiones colombianas ya que hasta ahora es poco lo que se ha trabajado en esta temática. En la Tabla 2 se presentan algunos estudios relevantes realizados en el país los cuales se basan principalmente en porcentaje de colonización, caracterización de esporas nativas y respuesta de la planta.

Tabla 2. Algunas experiencias colombianas en producción de Aguacate asociado a HMA

Ubicación	Autor/año	Región
Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (<i>Persea americana</i> , Mill) en Caldas, Colombia	Rivera <i>et al.</i> (2016)	Caldas
Caracterización y obtención de cultivos puros de esporas nativas del genero <i>Glomus</i> sp. Asociadas a rizósfera de aguacate (<i>Persea Americana</i> , Mill)	Aranguren <i>et al.</i> (2015)	Tolima
Las interacciones de la rizósfera como base para el manejo eficiente de la nutrición y sanidad del aguacate en Colombia	Bolaños <i>et al.</i> , 2008-2011. Presente publicación (2014)	Tolima y Valle del Cauca
Respuesta de la inoculación de micorrizas en plántulas de aguacate (<i>Persea americana</i> , Miller) variedad “Hass” en diferentes sustratos.	Melo (2011)	Valle del Cauca
Efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrizales y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate	Serna (2013)	Antioquia
Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (<i>Persea americana</i> Mill.) variedad Hass y Nativo Antillano durante la fase de vivero.	Pérez (2013)	Caldas
Use of soil microorganisms as a biotechnological strategy to enhance avocado (<i>persea americana</i>)-plant phosphate uptake and growth	Osorio <i>et al.</i> (2012)	Antioquia
Colonización micorrízica en plantas de aguacate (<i>Persea americana</i> L.) en fase de vivero	Montañez <i>et al.</i> (2010)	Meta
Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (<i>Persea americana</i> L.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales	Montañez <i>et al.</i> (2009)	Meta

El consumo global en el mercado agrícola presenta nuevas tendencias enmarcadas en agricultura sostenible, direccionadas a mejorar la calidad, el rendimiento y reducir al mínimo el uso de prácticas agrícolas tradicionales que consumen energía y contaminan el medio ambiente (Montenegro & Hernandez, 2015). En el año 2002 se publicó el libro: “Aproximación al estado actual de la bioprospección” con

el resultado de diversos trabajos de investigación orientados hacia el estudio de las micorrizas (Melgarejo *et al.*, 2002). A pesar de esta iniciativa, el avance no ha sido relevante en el fortalecimiento de la agricultura colombiana. En lo que respecta al aguacate y su crecimiento productivo, es prioritario entrar en la dinámica de la demanda mundial con preferencia de alimentos más sanos y cuya producción sea

amigable con el medio ambiente, sin descuidar las condiciones de vida de los trabajadores rurales y la de sus familias (Fonseca, Muñoz & Cleves, 2011), por lo tanto las razones para iniciar prácticas que favorezcan el uso sustentable del suelo, incluyendo la relación simbiótica planta-HMA, se hacen cada vez más necesarias ya que el aumento de productividad del Aguacate en Colombia basada en prácticas agrícolas tradicionales, podría desencadenar efectos negativos tanto en plantas como en cultivadores como ocurre actualmente en México y su desbordada producción de Aguacate (El financiero, 2016). Una proyección sustentable podría basarse en la implementación productiva de aguacate basada en servicios ecosistémicos de regulación, sustentada en el mantenimiento del suelo como parte de uno de estos servicios proporcionado por los ecosistemas, que comúnmente son visibles solamente cuando los daños implican pérdidas difíciles de recuperar (FAO, 2017; Corredor, Fonseca & Páez., 2012).

Conclusiones

En Colombia, se ha estudiado poco sobre la producción de aguacate y su asociación simbiótica con HMA como herramienta biotecnológica de bioprospección. El cultivo de aguacate en Colombia indica una proyección comercial en alza al igual que el costo de los insumos agrícolas, lo cual resta competitividad en la fase productiva para la industria local y alternativas de mejoramiento en sistema de nutrición a partir de la potencialización de HMA, que podría contribuir hacia el cumplimiento de uno de los retos y perspectivas de la cadena de aguacate en Colombia fundamentada en la generación de estrategias sostenibles.

Literatura citada

- Allen, J. W. & Shachar-Hill, Y. (2009). Sulfur transfer through an arbuscular mycorrhiza. *Plant Physiol.* 149, 549–560. doi: 10.1104/pp.108. 129866
- Aranguren, Aroca, R., A.; Ocampo, Guerrero M. L. & Mesa López, N. (2015). Caracterización y obtención de cultivos puros de esporas nativas del género *Glomus* sp. Asociadas a rizosfera de aguacate (*Persea Americana Mill*). *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas.* 25, p.50-60.
- Azcón-Aguilar, C, Barceló, A, Vidal, M. & De la Viña, G. (1992) Further studies on the influence of mycorrhizae on growth and development of micropopagated avocado plants. *Agronomie.* 12:837- 840.
- Bárceñas Ortega, A., Varela-Fregoso, L. Stürmer, S.L. & Chávez-Bárceñas, AT. (2011). Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate (*Persea americana* Miller) de Michoacán, México. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Congreso mundial del aguacate. Recuperado de <http://www.congresomundialdelaguacate2011.com/userfiles/file/Ana%20Barceñas-Ortega%201130-1150.pdf>
- Barreño F. (2014). Estado actual y perspectivas de la cadena del aguacate en Colombia. Ministerio de Agricultura y Desarrollo rural, Republica de Colombia.
- Bernal E., J.A. & Diaz D., C.A. (2005). Tecnología para el Cultivo del Aguacate. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA, Centro de Investigación La Selva, Rionegro, Antioquia, Colombia. Manual Técnico 5. 241 p.
- Blanco, F. A. & Salas, E. A. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en costa rica. *Agronomía Costarricense* 21(1): 55-67.
- Berruti, A., Lumini, E., Balestrini, R. & Bianciotto, V. (2015). Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1559. <http://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01559>
- Bolaños Benavides, M. M. (2014). Manejo de Suelos en la producción de Alimentos Ecológicos -Las interacciones de la rizósfera como base para el manejo eficiente de la nutrición y sanidad del aguacate en Colombia. C. I. Tibaitatá de Corpoica. VI Congreso Nacional Hortofrutícola. Recuperado de: <http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/4Manejo%2>
- Bonfante, P. & Genre, A. (2010) Mechanisms underlying beneficial plant- fungus interactions in mycorrhizal symbiosis. *Nature Communications* 1, 48. doi: 10.1038/ncomms1046.
- Carreón-Abud, Y., Jerónimo-Treviño, E., Beltrán-Nambo, M. A., Martínez-Trujillo, M., Trejo Aguilar, D. & Gavito, M. E. (2013). Aislamiento y propagación de cultivos puros de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de huertas de aguacate con diferente manejo agrícola por la técnica de minirizotróf. *Revista mexicana de micología*, 37, 29-39. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-31802013000100005&lng=es&tlng=es.
- Carreón Abud, Y., Aguirre Paleo, S., Gavito, M.E., Mendoza Solís, D.J., Juárez Chávez, R., Miguel Martínez Trujillo, M. & Trejo Aguilar, D. (2014). Inoculación micorrizico arbuscular en porta injertos de plantas de aguacate (*Persea americana* Miller) cv 'Hass' en viveros de Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.5* Núm.5 30 de junio 13 de agosto, p. 847-857. Recuperado de: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000500010
- Carreón-Abud, Y., Vega-Fraga, M. & Gavito, M.E. (2015). Interacción de inoculantes micorrízicos ar-

- busculares y estiércol de pollo en la producción de portainjertos de aguacate. *Journal of soil science and plant nutrition*, vol.15 no.4, 867-881. Versión On Line ISSN 0718-9516. Recuperado de: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-95162015000400005 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000060>
14. Carreón-Abud Y., Gómez Dorantes, N., Beltrán Nambro M. A, Alvarado-Herrejón M. & Varela-Fregoso L. (2016). Diversidad de hongos micorrícicos arbusculares provenientes de la rizósfera de aguacate (*Persea americana* Mill) y selección de plantas trampa para su propagación. *Revista Biológicas Vol. 18*, No. 2, 1-9. Recuperado de: https://www.biologicas.umich.mx/index.php/biologicas/article/view/BiologicasVol-18No2_2106_1-9/205
 15. Castillo, Claudia., Sotomayor, L., Ortiz, C., Leonelli, C., Borie, F. & Rubio, R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop of chili peppers (*capsicum annuum* l.). *Chileanjar*, 69(1), 79-87.
 16. Contreras Bernal, M. M. (2012). Etapas óptimas de inoculación micorrízica en plántulas de aguacate (*Persea americana*). Universidad veracruzana. Recuperado de: <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/31358/1/manuelmiguelcontrerasbernal.pdf>
 17. Corredor Camargo, E., Fonseca Carreño, J. & Páez Barón, E. (2012). Los servicios ecosistémicos de regulación: tendencias e impacto en el bienestar humano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3(1), enero-junio, 77-83. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/936/934>
 18. Da Silveira, S.V., De Souza, P.V.D., Koller, O.C. & Schwarz, S.F. (2003). Elementos minerales y carbohidratos en plántulas de aguacate (*Persea americana* Miller) 'carmen' inoculados con micorrizas arbusculares. Departamento de Horticultura e Silvicultura. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Actas V Congreso Mundial del Aguacate, p. 415-420. Recuperado de http://www.avocadosource.com/WAC5/Papers/WAC5_p415.pdf.
 19. Douds D.D., Jr, Nagahashi G., Reider C. & Hepperly P.R. (2007). Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases the yield of potatoes in a high P soil. *Biol Agric Hortic*, 25, 67–78.
 20. El financiero (2016). Economía: La 'fiebre verde' del aguacate en México, un negocio tóxico. Recuperado de: <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/la-fiebre-verde-del-aguacate-en-mexico-un-negocio-toxico.html>
 21. FAO (2017). Servicios ecosistémicos y biodiversidad. Recuperado de: <http://www.fao.org/ecosystem-services-biodiversity/background/regulating-services/es/>.
 22. FAO STAT (2014). Datos. Producción-Cultivos. Mundo Lista. Producto Aguacate. Recuperado de : <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
 23. Fernández, F.; Dell'Amico, J.M., Angoa, M.V. & de la Providencia, E. (2011). Use of a liquid inoculum of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus hoi* in rice plants cultivated in a saline Gleysol: A new alternative to inoculate *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 3(2), 24-33. Available online <http://www.academicjournals.org/jpbcs>
 24. Fonseca C., J., Muñoz P., N. & Cleves L., J. (2011). El sistema de gestión de calidad: elemento para la competitividad y la sostenibilidad de la producción agropecuaria colombiana. *Revista De Investigación Agraria y Ambiental*, 2(1), enero-junio, 9-22. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/909/903>
 25. Garcia, K. & Zimmermann, S. D. (2014). The role of mycorrhizal associations in plant potassium nutrition. *Front. Plant Sci.* 5:337. doi: 10.3389/fpls.2014.00337
 26. Godínez, M., Martínez, M., Melgar, N. & Méndez, W. (2000). El cultivo del aguacate en Guatemala. PRO-FRUTA, MAGA, Guatemala, Guatemala. 35 p.
 27. Graham, J. H. (2001). What Do Root Pathogens See in Mycorrhizas? *New Phytologist* 149: 357–359.
 28. Harrison, M. J. & van Buuren, M. L. (1995). A phosphate transporter from the mycorrhizal fungus *Glomus versiforme*. *Nature* 378, 626–629. doi: 10.1038/378626a0.
 29. Lanfranco L, Bonfante P. & Genre, A. (2016). The Mutualistic Interaction between Plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi. *Microbiol Spectrum* 4(6): FUNK-0012-2016. doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0012-2016.
 30. Lasso-Rivas, N. (2015). Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(1), enero-junio, 53 - 66. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1263/1599>
 31. Lavaire, L. & Morazán, F. (2013). Manual técnico del cultivo de aguacate en honduras (*Persea americana* Mill). Programa Nacional de Desarrollo Agroalimentario de la Secretaría de Agricultura y Ganadería (SAG). Honduras. 58p.
 32. Lehmann, A. & Rillig, M. C. (2015). Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops—A meta-analysis. *Soil Biol. Biochem.* 81, 147–158. doi: 10.1016/j.soilbio.2014.11.013
 33. Lehmann, A., Veresoglou, S. D., Leifheit, E. F. & Rillig, M. C. (2014). Arbuscular mycorrhizal influence on zinc nutrition in crop plants—A meta-analysis. *Soil*
 34. Menge, A, LaRue, J, Labanauskas, K & Johnson, L. (1980). The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer treatments, *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 105:400-404.
 35. Melgarejo, L. M., J. Sánchez, A. Chaparro, F. NEW-MARK, M. Santos-Acevedo, C. Burbano & Reyes, C. (2002). Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia Bogotá: Cargraphics 334p.--(Serie de Documentos Generales INVEMAR No.10). Recuperado de: http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/ESTADO_BIOPROSP-PECCION.pdf
 36. Minagricultura (2015). Organización de cadena productiva del aguacate. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Aguacate/Documentos/002%20-%20Cifras%20Sectoriales/002%20-%20Cifras%20Sectoriales%20-%202015%20Diciembre.pdf>

37. Montenegro Gómez, S. & Hernández Ossa, Y. (2015). Biotecnología aplicada al desarrollo agropecuario colombiano. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 6(2), julio-diciembre, 97 - 108. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1408/1732>
38. Morales-García, J.L. 2009. Enfermedades de importancia económica en el cultivo de aguacate en Michoacán, México. III Congreso latinoamericano del aguacate, del 10-12 de noviembre, Medellín, Colombia. pp. 15-31.
39. Motta D., Munévar, F. (2005). Respuesta de Plántulas de Palma de Aceite a la Micorrización. *Palmas*, 26 (3): 11-20.
40. Osorio Vega, Nelson Walter, Serna Gómez, Sandra Luz & Montoya Restrepo, Beatriz Elena. (2012). Use of soil microorganisms as a biotechnological strategy to enhance avocado (*persea americana*)-plant phosphate uptake and growth. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*, 65(2), 6645-6657. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000200009&lng=en&tlng=.
41. Montañez Orozco, B.I. (2009). Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana* Lineo.) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales. Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias Naturales y Exactas Bogotá, Colombia. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/11052852.pdf>
42. Montañez Orozco, I., Vargas Sarmiento, C., Cabezas Gutiérrez, M. & Cuervo Andrade, J. (2010). Colonización micorrízica en plantas de aguacate (*Persea americana* L.). *Revista U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 13 (2): 51-60. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v13n2/v13n2a07.pdf>
43. Pellegrino, E. & Bedini, S. (2014). Enhancing ecosystem services in sustainable agriculture: biofertilization and biofortification of chickpea (*Cicer arietinum* L.) by arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biol. Biochem.* 68, 429–439. [10.1016/j.soilbio.2013.09.030](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.030)
44. Pérez Melchor, E.J. (2013). Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.) variedad Hass y Nativo Antillano durante la fase de vivero. (tesis de pregrado) Ingeniera Agrónoma, Universidad de Caldas Facultad de Ciencias Agropecuarias, Manizales, Colombia. Recuperado de <http://biblio.ucaldas.edu.co:8000/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=46399>
45. Reyes Alemán, J. C. Ferrera Cerrato, R., Cortés Flores, J.L. & Alarcón, A. (2000). Simbiosis micorrízica y vermicomposta en el desarrollo de porta injertos de aguacate crecidos en sustratos agrícola y forestal. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. Recuperado de http://www.avocadosource.com/Journals/CICTAMEX/CICTAMEX_1998-2001/CICTAMEX_1998-2001_PG_064-079.pdf
46. Reyes Alemán, J. C., Ferrera Cerrato, R. & Alarcón, A. (2001). Aplicación de vermicomposta y hongos micorrízicos en la producción de planta de aguacate en vivero. Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTAMEX S.C y Área de Microbiología, Especialidad de Edafología. IRENAT-CP. México. Recuperado de: http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998-2001/cictamex_1998-2001_pg_080-087.pdf
47. Rivera Espinosa, R.A., Martín Cárdenas, J.V., Calderón Puig, A. & Torres Hernández, A. (2011). Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. *Cultivos tropicales vol.32 no.2, abr.-jun.*, 23.29. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362011000200007
48. Rivera Páez, F.A., González Salazar, V., González Acosta, J.G. & Ossa López, P.A. (2016). Caracterización molecular, análisis morfológico y colonización micorrízica en la rizósfera del aguacate (*Persea americana* Miller) en Caldas, Colombia. *Acta Agronómica*, vol.65 no.4, 398-405. Versión impresa ISSN 0187-3180. Recuperado de: <https://dx.doi.org/10.15446/acag.v65n4.51714>
49. Sánchez, M. (1999). Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. 1era ed. Palmira, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 1-227.
50. Sieh, D., Watanabe, M., Devers, E. A., Brueckner, F., Hoefgen, R., & Krajinski, F. (2013). The arbuscular mycorrhizal symbiosis influences sulfur starvation responses of *Medicago truncatula*. *New Phytol.* 197, 606–616. doi: 10.1111/nph.12034
51. Sieverding, E. (1991), Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agosystems. *Plant Physiology*, 13, 220-350.
52. Smith S. E. & Read, D.J. (2008). Mycorrhizal Symbiosis, Third Edition. Elsevier Ltd., London, England.
53. Thies, J. & Grossman, J.M. (2006). The soil habitat and soil ecology. pp. 59-78. In: Uphoff N. (ed.). Biological approaches to sustainable soil systems. CRC Press, Boca Raton, FL. 764 p.
54. van der Heijden, M. G. A., Martin, F. M., Selosse, M.-A. & Sanders, I. R. (2015), Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytol*, 205: 1406–1423. doi:10.1111/nph.13288
55. Vélez Zabala, F. & Sánchez de Prager, M. (2014). Dinámica de los hongos de Micorriza Arbuscular (MA) en un Humic Dystrudepts sembrado con maíz *Zea mays* L. y Abonos Verdes (AV). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), enero-junio, 69-79. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/915/905>
56. Whiley, A.W., Chapman, K.R. & Saranah, J.B. (1988a). Water loss by floral structures of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Fuerte during flowering. *Australian Journal of Agricultural Research*, 39, 457–467.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: agosto 05 de 2016
Aceptado: agosto 30 de 2016

Friabilidad del suelo: métodos de estimación con énfasis en la determinación cuantitativa de la resistencia al rompimiento

Soil friability: estimation methods with emphasis on the quantitative determination of breaking resistance

Friabilidade do solo: métodos de estimação com um ênfase na determinação quantitativa da força de ruptura

Edgar Álvaro Ávila Pedraza

Agrólogo, Magíster en Ciencias Agrarias Línea de Investigación en Suelos y Aguas,
Doctor en Ciencias Agrarias Línea de Investigación Suelos y Aguas.

Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima. Ibagué. Colombia

eaavila@ut.edu.co

Resumen

Entender el comportamiento de la friabilidad permite la toma de decisiones apropiadas para la reducción del consumo de energía, el manejo y la conservación de la calidad física del suelo. Este artículo sintetiza los métodos utilizados actualmente para la determinación de la friabilidad del suelo, con énfasis en el método de resistencia al rompimiento -RR-. La friabilidad puede ser determinada a partir de métodos cualitativos, semicuantitativos y cuantitativos. El análisis cualitativo se basa en el examen visual de la estructura y consistencia del suelo, mientras que el análisis semi-cuantitativo se centra en la cuantificación de la distribución de agregados o fragmentos producto del sometimiento del suelo a impacto por caída. Los métodos cuantitativos permiten determinar la friabilidad de forma directa mediante la resistencia del suelo, o de forma indirecta, por inferencia a partir del comportamiento de otras propiedades del suelo: curva de retención de agua, porosidad y funciones de pedotransferencia. El método cuantitativo de RR se realiza mediante la compresión de agregados naturales o remoldeados de suelo hasta

lograr su fractura, y es uno de los más aceptados. Los métodos cualitativos se realizan directamente en campo, de manera fácil y rápida pero su resultado es menos confiable. Los métodos semicuantitativos, rompimiento del suelo por caída, pueden realizarse en campo o laboratorio pero no ofrecen información precisa sobre la resistencia del suelo. Los métodos cuantitativos, implican el transporte de las muestras al laboratorio, mayor tiempo de ejecución y equipos y personal especializado, pero sus resultados son más confiables y reproducibles.

Palabras clave: índice de friabilidad, agregados del suelo, calidad del suelo, resistencia a la compresión, labranza del suelo.

Abstract

Understand the behavior of the friability allows the taking of appropriate decisions for the reduction of energy consumption, the management and conservation of the physical quality of the soil. This article summarizes the methods currently used for the

determination of the friability of soil, with emphasis on the method of resistance to tearing - RR-. The friability can be determined on the basis of qualitative methods, semiquantitative and quantitative. The qualitative analysis is based on visual examination of the structure and consistency of the soil, while the analysis semi-quantitative focuses on the quantification of the distribution of aggregates or fragments product of the subjection of the ground to impact by fall. Quantitative methods to determine the friability directly through the soil resistance, or indirectly, by inference from the behavior of other soil properties: curve of water retention, porosity and pedotransfer functions. The quantitative method of RR is performed using the compression of natural aggregates or remoldados of soil to achieve its fracture, and is one of the most accepted. Qualitative methods are performed directly in the field, in an easy and fast way but its result is less reliable. The methods semiquantitative, breaking of the soil by fall, can be carried out in the field or laboratory but do not provide accurate information on the resistance of the soil. Quantitative Methods, involve the transport of samples to the laboratory, greater execution time and equipment and specialized personnel, but their results are more reliable and reproducible.

Key-words: friability index, soil aggregates, soil quality, compressive strength, soil tillage.

Resumo

Entender o comportamento da friabilidade permite tomar decisões apropriadas para a redução do consumo de energia, manejo e conservação da

qualidade física do solo. Este artigo sintetiza os métodos utilizados atualmente para a determinação da friabilidade do solo, focando no método de força de ruptura -RR-. A friabilidade pode ser determinada a partir de métodos qualitativos, semiquantitativos e quantitativos. A análise qualitativa baseia-se no exame visual da estrutura e consistência do solo, enquanto a análise semi-quantitativa foca-se na quantificação da distribuição de agregados ou fragmentos, produto do sometimento do solo ao impacto por queda. Os métodos quantitativos permitem determinar a friabilidade de forma direta por médio da resitencia do solo, ou de forma indireta, inferindo a partir do comportamento de outras propriedades do solo: curva de retenção de água, porosidade e funções de pedotransferência. O método quantitativo de RR realiza-se por compressão de agregados naturais ou remoldados do solo até conseguir seu quebramento, sendo um dos mais aceitos. Os métodos qualitativos realizam-se diretamente no campo, de forma fácil e rápida mas o resultado não é tão confiável. Nos métodos semiquantitativos, o quebramento do solo por queda, pode ser feito no campo ou laboratório mas, não oferecem imformação precisa sobre a resistência do solo. Os métodos quantitativos involucram o transporte de amostras de laboratório, maior tempo de execução e equipos e pessoal especializado, mas seus resultados são mais confiáveis e reproducíveis.

Palavras-chave: índice de friabilidade, agregados do solo, qualidade do solo, resistência à compressão, lavoura do solo.

Introducción

La friabilidad es una propiedad física esencial para la determinación de la respuesta del suelo a las operaciones de labranza y un factor clave en la obtención de una capa arable con el tamaño de agregados adecuado para el crecimiento de las raíces (Munkholm, 2011). En estado friable los suelos requieren una labranza mínima para producir una adecuada cama de siembra y, por el contrario,

aquellos que no lo están, pueden requerir alta demanda de energía en la labranza y el resultado final es un lecho de siembra inadecuado para la germinación, emergencia y establecimiento de plantas (Mullins *et al.*, 1990; Macks *et al.*, 1996). Adicionalmente, el suelo en estado friable presenta menor riesgo a la degradación estructural (Macks *et al.*, 1996).

Utomo & Dexter (1981) y Dexter & Watts (2001) definen la friabilidad como la tendencia de una masa de suelo no confinada a desmoronarse en un intervalo particular de agregados de menor tamaño bajo un esfuerzo aplicado. Lo que se desea con el estado friable del suelo es que los agregados más grandes –terrones-, al romperse por efecto de un esfuerzo aplicado, generalmente el uso de implementos de labranza, se fragmenten en un conjunto homogéneo de agregados más pequeños resistentes a la degradación y cuyo tamaño ofrezca un medio óptimo para el desarrollo del sistema radical de las plantas. Una buena cama de siembra es uno de los objetivos de la labranza, actividad que se lleva a cabo más fácilmente en suelos friables en que los terrones grandes son relativamente débiles y los agregados pequeños son relativamente fuertes y resistentes al desmoronamiento (Dexter, 1997; Schjónning *et al.*, 2002). Watts & Dexter (1998), consideran la friabilidad como un indicador de la calidad estructural del suelo y Macks *et al.* (1996), la sugieren como un indicador de la condición estructural para la plantación de cultivos en siembra directa. De acuerdo con Karlen *et al.* (1990), un suelo en estado friable es una condición asociada a una adecuada labranza.

Para la estimación de la friabilidad se han empleado métodos cualitativos, semi-cuantitativos y cuantitativos (Munkholm, 2011). Los métodos cualitativos han sido ampliamente utilizados y se basan en la descripción de la morfología y grado de desarrollo de la estructura y la determinación de la consistencia del suelo en húmedo (USDA, 2002; FAO, 2009 y Ball *et al.*, 2007). Los métodos semi-cuantitativos aplican el impacto de caída para fragmentar el material de suelo y establecer características como la distribución del tamaño de agregados, su diámetro geométrico medio o el diámetro promedio ponderado (Hadas & Wolf, 1984). Los

métodos cuantitativos en su mayoría se basan en la determinación de la resistencia de los agregados del suelo, bien sea naturales o remoldeados. Se han documentado otros métodos cuantitativos para determinar la friabilidad en forma indirecta: i) relación de la friabilidad con la curva de retención de agua (Dexter, 2004a, Dexter, 2004b y Dexter & Bird, 2001); ii) relación de la friabilidad con la porosidad estructural (Guérif, 1990 y Munkholm *et al.*, 2002b) y iii) a partir de funciones de pedotransferencia. Algunos autores como Snyder *et al.* (1995), consideran que es necesario establecer ensayos de friabilidad rápidos y sencillos que involucren pequeñas muestras de suelo. Uno de los métodos cuantitativos más aceptados es el de la RR (Utomo & Dexter, 1981; Watts & Dexter, 1998 y Dexter & Watts, 2001), produciendo la ruptura de agregados de suelos mediante un esfuerzo aplicado –compresión-, en condiciones de laboratorio, y, a través de la determinación del coeficiente de variación de la RR, expresado a través de un intervalo de confianza, se determina un índice de friabilidad.

El objetivo de este artículo es presentar una síntesis de los principales métodos cualitativos, semi-cuantitativos y cuantitativos para la determinación de la friabilidad del suelo, con especial énfasis en el método de resistencia al rompimiento.

Métodos para determinar la friabilidad del suelo

De acuerdo con Munkholm (2011), la friabilidad ha sido evaluada mediante la aplicación de métodos cualitativos de campo, semicuantitativos de campo y laboratorio, y cuantitativos realizados en condiciones controladas de laboratorio. En la Figura 1 se presentan los principales métodos utilizados en la evaluación de la friabilidad del suelo.

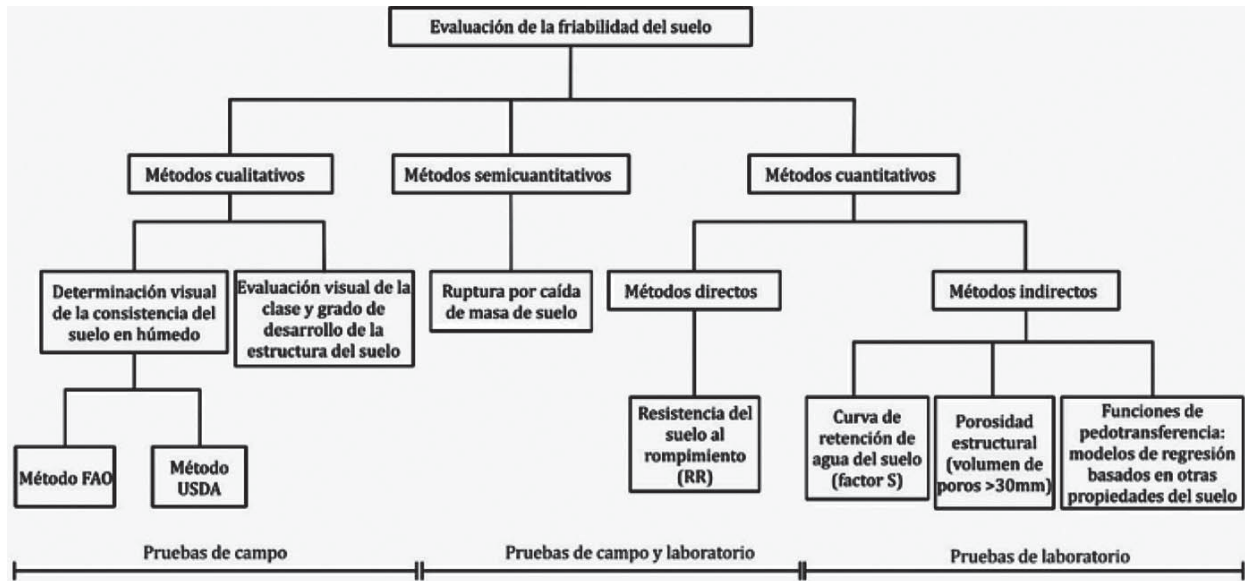


Figura 1. Principales métodos utilizados para evaluar la friabilidad del suelo.

1. Métodos cualitativos

Se conocen principalmente dos métodos de evaluación cualitativa: a partir de la determinación de la consistencia del suelo en húmedo (USDA, 2002 y FAO, 2009), y a través de la evaluación de su estructura (Ball *et al.*, 2007).

1.1 Determinación visual de la consistencia del suelo en húmedo

Esta determinación se realiza normalmente cuando se lleva a cabo la descripción de la consistencia en los perfiles modales de suelos en los levantamientos edafológicos y se utilizan fundamentalmente dos métodos:

Método USDA: de acuerdo con USDA (1993), la consistencia se refiere a los atributos del material de suelo que se expresan con relación al grado de adhesión y cohesión o la resistencia a la deformación o ruptura. La consistencia es altamente dependiente de la condición de humedad y su descripción no tiene mucho sentido si no se especifica conjuntamente el contenido de agua del suelo. Para determinar la friabilidad por este método se coloca

un agregado o terrón del suelo en estado húmedo entre el índice y el pulgar (Figura 2) o debajo del pie, y se aplica un esfuerzo de compresión que permita desmoronarlo o romperlo; en el caso de suelos muy consistentes que no se puedan fragmentar con la mano o el pie, el material de suelo se golpea contra una superficie dura. Para determinar la friabilidad por este método, se utilizan los criterios que aparecen en la Tabla 1.



Figura 2. Determinación de la friabilidad del suelo de manera manual.

Tabla 1. Categorías consideradas en la clasificación de la consistencia del suelo en húmedo

Consistencia en húmedo		Descripción de la prueba	
Clase	Código	Operación	Fuerza aplicada
Suelta	S	No se puede obtener fragmento intacto	
Muy friable	MFR	Fuerza muy pequeña entre los dedos	< 8 N
Friable	FR	Ligera fuerza entre los dedos	8 a < 20 N
Firme	FI	Moderada fuerza entre los dedos	20 a < 40 N
Muy firme	MFI	Gran fuerza entre los dedos	40 a < 80 N
Extremadamente firme	EFI	Fuerza moderada entre las manos	80 a < 160 N
Ligeramente rígida	LR	Presión del pie con el peso del cuerpo	160 a < 800 N
Rígida	R	Golpe leve	800 N a < 3 J
Muy rígida	MR	Golpe moderado a fuerte	≥ a 3 J

N=Newton; J= Julio Fuente: USDA, 2002.

Método FAO: la consistencia se refiere al grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo e incluye propiedades de este relacionadas entre sí como la friabilidad, plasticidad, adhesividad y resistencia a la compresión (FAO, 2009). Este método de determinación de la friabilidad guarda gran similitud con el establecido por USDA (2002), y consiste en describir la consistencia del suelo en las condiciones naturales de

humedad del perfil; cuando se utiliza esta técnica en perfiles de suelo seco, se sugiere humedecerlo hasta llevarlo a una medida subjetiva próxima a capacidad de campo. En este método la consistencia se determina mediante el rompimiento de una masa de suelo entre los dedos y su clasificación se realiza con base en la respuesta del material de suelo al comprimirlo, en las categorías que se observan en la Tabla 2.

Tabla 2. Clasificación de la consistencia del suelo en húmedo

Código	Tipo de consistencia en húmedo	Características del material de suelo
LO	Suelto	No coherente
VFR	Muy friable	El material de suelo se aplasta bajo presión leve entre los dedos, pero es coherente cuando se lo presiona todo al mismo tiempo
FR	Friable	El material de suelo se aplasta fácilmente bajo presión suave a moderada entre los dedos, y se vuelve coherente cuando se lo presiona junto
FI	Firme	El material de suelo se aplasta bajo presiones moderadas entre los dedos, pero su resistencia es mayor que la anterior categoría
VFI	Muy firme	El material de suelo se aplasta a presión fuerte entre los dedos; difícilmente aplastable entre los dedos
EFI	Extremadamente firme	El material de suelo se aplasta solo a presiones muy fuertes; no puede aplastarse entre los dedos

Fuente: FAO, 2009.

1.2. Evaluación visual de la clase y grado de desarrollo de la estructura del suelo

Este método se basa en una modificación del inicialmente propuesto por Peerlkamp (1959), quien desarrolló una escala para evaluar la calidad de la estructura del suelo. Es un método de determinación de la friabilidad que generalmente se realiza directamente en campo y que comprende fundamentalmente tres etapas: extracción y revisión del bloque de suelo, ruptura del bloque y asignación de la puntuación al suelo con base en la descripción de la estructura (Ball *et al.*, 2007). A partir de los bloques que se extraen de cada horizonte, normalmente los

superficiales, con la ayuda de una pala, se separan los agregados por sus planos de debilidad natural y se dejan expuestos para su observación los diferentes tamaños de agregados. En los agregados obtenidos se evalúa, mediante la utilización de una tabla guía, características como tamaño, forma, presencia de aristas y porosidad. Como este método se trabaja de manera independiente para cada horizonte del suelo, la evaluación final corresponde al producto de la puntuación de cada horizonte por su espesor y se pondera por la profundidad total considerada. En la Tabla 3 se presentan las categorías de evaluación consideradas en este método.

Tabla 3. Clasificación de la friabilidad del suelo basada en la evaluación visual de la estructura

Código	Calidad de la estructura	Facilidad de ruptura (suelo húmedo)	Tamaño y apariencia de los agregados	Porosidad visible	Raíces
Sq1	Friable (se desmorona el bloque y tiende a caer de la pala).	Los agregados se desmoronan fácilmente con los dedos.	< de 6 mm después de desmoronarse.	Altamente porosos.	Raíces en todo el suelo.
Sq2	Intacta (el bloque se mantiene con su forma original en la pala).	Los agregados se rompen fácilmente con la mano.	Una mezcla de agregados porosos, redondeados, de 2 a 70 mm. No se presentan terrones.	La mayoría de los agregados son porosos.	Raíces en todo el suelo.
Sq3	Firme	No es difícil.	Una mezcla de agregados porosos de 2 mm a 10 cm; menos de 30% son < 1 cm. Algunos agregados (terrones) angulares, no porosos pueden estar presentes.	Macroporos y grietas presentes. Alguna porosidad dentro de los agregados se presenta como poros o raíces.	La mayoría de las raíces están alrededor de los agregados.
Sq4	Compacta	Difícil.	En su mayoría grandes > de 10 cm, subangulares no porosos; menos de 30% son menores de 7 cm. Puede presentarse estructura laminar.	Pocos macroporos y grietas.	Todas las raíces se concentran en los macroporos y alrededor de los agregados.
Sq5	Muy compacta	Bastante difícil.	En su mayoría grandes > de 10 cm, muy pocos menores de 7 cm, angulares y no porosos.	Muy baja, puede haber macroporos. Puede contener zonas anaeróbicas.	Pocas o ninguna, si hay algunas se concentran en grietas.

Fuente: Ball *et al.*, 2007.

Este método es rápido, de fácil uso y reproducibilidad, pero su interpretación es subjetiva y puede variar de un evaluador a otro; además, es sensible al contenido de agua del suelo al momento de realizar la prueba (Munkholm, 2011).

2. Métodos semicuantitativos

2.1. Rompimiento del suelo por caída

Este método permite determinar la friabilidad de un volumen –fragmento- de suelo y abordar principalmente la distribución del tamaño de fragmentos después de la caída e impacto de la masa de suelo sobre una superficie dura (Munkholm, 2011). La técnica consiste en obtener terrones de suelo y someterlos a caída libre sobre una superficie dura; los agregados o terrones pueden ser tomados directamente en campo u obtenidos a partir de bloques inalterados de suelo. Estos terrones o agregados se dejan caer desde una altura determinada, que de acuerdo con Hadas & Wolf (1984), no debe exceder los 1.5 m (Figura 3), de tal forma que con el impacto, estos sufran un proceso de fragmentación a lo largo de sus planos de debilidad subdividiéndose en unidades naturales más pequeñas (Marshall & Quirk, 1950). La distribución del tamaño de agregados resultante tras el impacto puede ser evaluada mediante la utilización de un juego de tamices, clasificando los tamaños de fragmentos de manera visual, o determinando gráficamente la distribución de tamaño de los mismos. Así mismo, se puede calcular el diámetro geométrico medio y el diámetro promedio ponderado de los agregados o fragmentos resultantes (Hadas & Wolf, 1984; Munkholm *et al.*, 2002b; Munkholm, 2011; Munkholm, *et al.*, 2012). Este método es altamente sensible y dependiente del contenido de agua de la muestra de suelo por lo que se hace necesario determinar su contenido al momento de realización de la prueba para que los resultados sean comparables. El principio del método se fundamenta en la subdivisión de una masa de suelo en volúmenes más pequeños a partir de la energía liberada al momento del impacto sobre una superficie dura (Hadas & Wolf, 1984).

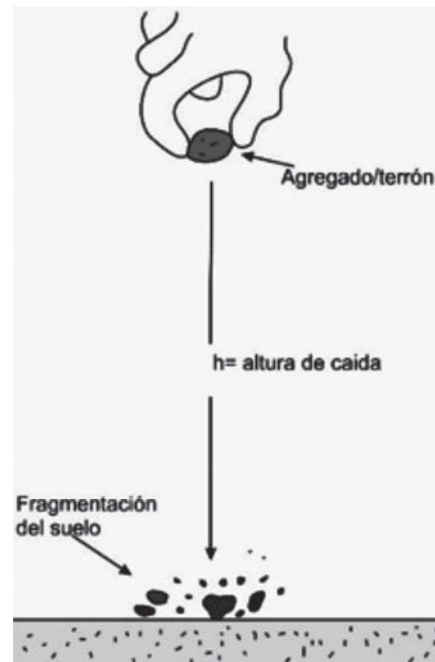


Figura 3. Esquema representativo del método de rompimiento del suelo por caída.

Este método es fácil de realizar y se puede llevar a cabo directamente en campo o en el laboratorio; de igual forma, requiere menos tiempo en su ejecución y equipos menos especializados con respecto a determinaciones cuantitativas, pero no ofrece información precisa sobre la resistencia del suelo (Munkholm, 2011).

3. Métodos cuantitativos

Existen métodos de determinación directa e indirecta de la friabilidad; entre los primeros, el método más utilizado es el de la resistencia del suelo al rompimiento -RR- (Utomo & Dexter, 1981 y Dexter & Watts, 2001). Entre los métodos de determinación indirecta se encuentran el de correlación con el índice de calidad estructural del suelo –S–, a partir de la curva de retención de agua del suelo (Dexter, 2004a), el de determinación a partir de la estimación de la porosidad estructural, y la estimación mediante funciones de pedotransferencia (Macks *et al.*, 1996 y Dexter, 2004b).

3.1. Métodos de determinación directa

3.1.1. Determinación de la resistencia del suelo al rompimiento (RR)

La RR ha sido definida como la fuerza por unidad de área necesaria para provocar la ruptura en una muestra de suelo, es decir, para separarla (Dexter & Watts, 2001). Esta característica es sensible a la microestructura por la función que cumplen las microfisuras en la resistencia del suelo y permite cuantificar la friabilidad (Dexter, 1988a; Hallett, 1995b; Watts & Dexter, 1998). La resistencia del suelo depende del contenido de materia orgánica (Watts & Dexter, 1998; Imhoff *et al.*, 2002; Guimarães *et al.*, 2009; Blanco-Moure *et al.*, 2012), el contenido de agua (Munkholm & Kay, 2002; Dexter, 2004b), la composición y concentración de la solución del suelo (Rahimi *et al.*, 2000), la estabilidad de los agregados, los ciclos de humedecimiento y secado (Utomo & Dexter, 1981), la cantidad y tipo de arcilla (Barzegar *et al.*, 1994, 1995) y la cantidad de arcilla dispersable (Kay & Dexter, 1992; Schjning *et al.*, 2011).

Según Munkholm (2011), la estimación de la RR es un procedimiento bien establecido y de uso común para cuantificar la friabilidad del suelo; adicionalmente, es un método cuyo enfoque es más objetivo con respecto a los métodos visuales descriptivos. La determinación de la friabilidad por este método se basa en que la resistencia del suelo a la fragmentación o desmoronamiento es controlada por la distribución de fisuras en el mismo (Watts & Dexter, 1998). Estas fisuras corresponden a los espacios generados por los poros estructurales, los cuales bajo tensión mecánica, especialmente compresión, pueden alargarse y unirse con otros generando grietas de mayor dimensión que constituyen los límites de los nuevos fragmentos producidos por el desmoronamiento durante las operaciones de labranza (Dexter, 2004a).

Se conocen dos tipos de ensayos de resistencia del suelo al rompimiento: tensión y compresión; en el primero, la muestra de suelo es fragmentada en dos partes por efecto de la fuerza de tensión generada desde el centro de la muestra hacia sus extremos (Figura 4), por lo que al final, la muestra de suelo se

fractura con una grieta que es perpendicular a la fuerza aplicada. Ensayos de resistencia a la tensión son complejos y difíciles de realizar, por lo que no son frecuentemente utilizados (Dexter & Watts, 2001).

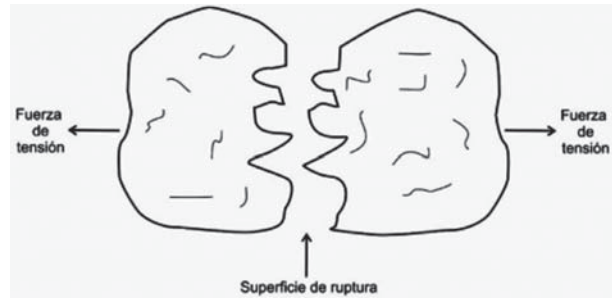


Figura 4. Esquema de agregado de suelo en la prueba de resistencia a la tensión.

Por el contrario, en el método de resistencia a la compresión la fuerza es aplicada a través del diámetro de la muestra tal como se observa en la Figura 5.



Figura 5. Esquema de agregado de suelo sometido a rompimiento en el ensayo de resistencia a la compresión.

Las muestras de suelo que se utilizan para la determinación de la RR corresponden a agregados o terrones de diferente tamaño, obtenidos de bloques indisturbados de suelo tomados en el horizonte y profundidad deseados; sin embargo algunos investigadores trabajan con agregados de suelo moldeados (Barzegar *et al.*, 1995). Los bloques son transportados al laboratorio evitando su rompimiento o debilitamiento y allí se realiza la separación de agregados por los planos de debilidad natural; dependiendo de las características del ensayo los agregados obtenidos pueden ser sometidos a humedecimiento a diferentes contenidos de agua,

secado al aire, secado en horno a temperaturas bajas (< 60°C) o, incluso, secado en horno hasta los 105°C. Los agregados secos se pasan a través de un juego de tamices que permite seleccionar el tamaño -o tamaños- de los agregados requeridos para la prueba. Algunos investigadores han empleado también muestras cilíndricas -sin disturbar-, para la determinación de la resistencia a la compresión del suelo (Dexter & Kroesbergen, 1985; Munkholm *et al.*, 2002a). El diámetro de los agregados debe ser conocido antes de hallar la resistencia a la compresión, sin embargo, el diámetro esférico efectivo de los mismos no se puede determinar con exactitud debido a su forma irregular. Dexter & Kroesbergen (1985) describen cinco diferentes técnicas para la estimación del diámetro efectivo de los agregados:

Técnica 1: la muestra de suelo se pasa a través de un juego de dos tamices, cuyo valor de abertura de malla depende del rango de tamaño de agregado de interés. Los agregados colectados pasan a través del tamiz superior con una abertura de malla d_1 pero no través del tamiz inferior con abertura de malla d_2 . El diámetro medio de los agregados (D_1), cuyo valor es el asumido para todos los agregados individuales de la muestra, se determina a partir de la ecuación 1:

$$D1 = (d_1 + d_2)/2 \quad (1)$$

Esta técnica que generalmente es utilizada para agregados de diferentes tamaños, ofrece como ventaja la posibilidad de trabajar con agregados de tamaño menor a 3 mm que normalmente ofrecen dificultad para su medición por otros métodos.

Técnica 2: los agregados una vez separados son medidos individualmente con calibrador u otro dispositivo de medición adecuado. Dentro del rango de agregados seleccionado se debe medir el más grande (Dx), el intermedio (Dy) y el más pequeño: (Dz). En esta técnica el diámetro aritmético medio de los agregados (D_2) es hallado a partir de la ecuación 2:

$$D2 = (Dx + Dy + Dz)/3 \quad (2)$$

Este método presenta como ventaja que al determinar individualmente el diámetro de los agregados y la fuerza de compresión a la ruptura, permite reducir la varianza de los resultados de la RR.; sin embargo, no tiene buena aplicabilidad en agregados menores de 5 mm o en agregados de formas muy irregulares.

Técnica 3: los agregados individuales son medidos como en la técnica 2, pero el diámetro geométrico medio (D_3) es calculado a partir de la ecuación 3:

$$D3 = (DxDyDz)^{1/3} \quad (3)$$

Esta técnica presenta las mismas limitaciones que la número 2.

Técnica 4: se sigue el mismo procedimiento de tamizado de los agregados de la técnica 1 pero el diámetro efectivo es ajustado con base en las masas individuales de los agregados M. El ajuste se realiza considerando que todos los agregados de la muestra tienen igual densidad aparente. Por lo tanto, si la masa media de un lote de agregados es M_0 , se puede calcular la ecuación 4:

$$D4 = D1(M/M_0)^{1/3} \quad (4)$$

donde D1 es el tamaño medio de los agregados seleccionados y M la masa de cada agregado. Este método es efectivo y confiable, ya que las masas individuales de los agregados se pueden obtener con rapidez y precisión mediante pesaje; así mismo, permite trabajar con agregados grandes y pequeños.

Técnica 5: en esta técnica, al igual que en la anterior, el diámetro individual de los agregados es ajustado de acuerdo con sus masas individuales (M), pero en esta la densidad media de los agregados (d_a) es conocida. Asumiendo que el diámetro de la esfera tiene el mismo volumen del agregado irregular, se tiene la ecuación 5:

$$D5 = (6M/\pi d_a)^{1/3} \quad (5)$$

Esta técnica ofrece una buena precisión en la medida de los agregados pero su desventaja es que solo se puede aplicar en suelos no expandibles o

sometidos a ruptura en condición seca; adicionalmente, determinar la densidad aparente de cada agregado es muy dispendioso en tiempo y genera mayores costos.

Una vez determinada la masa individual y el diámetro efectivo, los agregados son sometidos individualmente a un esfuerzo de compresión, mediante la utilización de una prensa con dos platos paralelos para determinar la fuerza máxima necesaria para producir la ruptura del agregado (Figura 6) Dexter & Kroesbergen (1985).

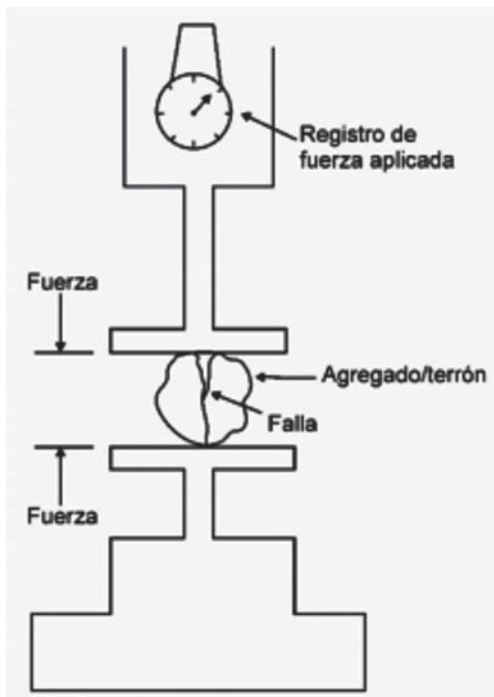


Figura 6. Determinación de la resistencia del suelo a la compresión.

La RR de los agregados se calcula mediante la ecuación (6), propuesta por Utomo & Dexter, 1981; Dexter & Kroesbergen, 1985; Dexter & Watts, 2001:

$$RR = 0.576 (P/D^2) \quad (6)$$

En esta ecuación, RR -generalmente expresada en kPa-, es la resistencia al rompimiento, P (N) el pico de fuerza registrado al momento de la ruptura del agregado, D (m) el diámetro efectivo de los agregados y el valor 0.576 corresponde a una constante de proporcionalidad (Dexter & Kroesbergen, 1985,

Dexter & Watts, 2001). Esta constante es la relación entre el esfuerzo de la compresión confinada por la y el esfuerzo de compresión producido dentro de la muestra; de esta constante se han propuesto valores que van desde 0.576 (Braunack *et al.*, 1979) hasta 1.86 (Dexter, 1988b).

Basados en la RR, Watts y Dexter (1998) proponen el coeficiente de variación univariante como herramienta para estimar el índice de friabilidad, este coeficiente está dado por la ecuación 7:

$$IF = \frac{\sigma_y}{\bar{Y}} \pm \frac{\sigma_y}{\bar{Y}\sqrt{2n}} \quad (7)$$

donde es el índice de friabilidad, es la desviación estándar de los valores medidos de RR y, es la media de la RR medida en réplicas. El segundo término es el error estándar del coeficiente de variación.

Para interpretar la friabilidad del suelo a partir del coeficiente de variación de la RR se utiliza la clasificación presentada en la Tabla 4.

Tabla 4. Interpretación del índice de friabilidad estimado mediante el coeficiente de variación

Índice de friabilidad	Calificación de la friabilidad
< 0.1	No friable
0.1 – 0.2	Ligeramente friable
0.2 – 0.5	Friable
0.5 – 0.8	Muy friable
> 0.8	Mecánicamente inestable

Fuente: Imhoff *et al.*, 2002.

Los valores más altos de friabilidad en los terrones o agregados de mayor tamaño, en relación con los de tamaño menor, indica que los primeros tienen una RR baja, por lo que pueden ser más fácilmente fragmentados en sub-unidades más pequeñas de mayor RR, con bajos requerimientos de energía para la labranza. Bajo esta condición el suelo requiere un mínimo de labranza para producir una buena cama de siembra, generando agregados de tamaño tal que ofrecen las condiciones óptimas para la germinación y el establecimiento de la plantas (Macks *et al.*, 1996).

Lo deseable en la capa arable del suelo es que los agregados pequeños tengan un menor índice de friabilidad (mayor RR), y en los grandes, este índice sea mayor (menor RR) (Utomo & Dexter, 1981).

Algunos autores sugieren que la forma de los agregados influye también sobre la determinación de la RR. Seben *et al.* (2013) determinaron la RR tomando agregados en el rango de tamaño entre 12.5 y 19 mm, separándolos en tres tipos de formas y tratando de preservar su estructura inherente, así: (i) agregados de formas irregulares, (ii) agregados de formas esféricas y (iii) agregados de formas planas en la superficie de contacto con los platos de compresión. Estos autores encontraron que los agregados con formas irregulares presentaron resistencias a la compresión más altas (306 kPa), comparados con los de formas esféricas (238 kPa) y los de formas planas en su superficie de contacto (129 kPa). Lo anterior se explica por los puntos de cada agregado que entran en contacto con los platos paralelos del equipo de compresión.

Sin embargo, la manipulación que se realiza de los agregados cuando se pulen y raspan de forma manual para adaptarlos a las formas referidas, puede debilitar los agregados y generar menores valores de RR, especialmente en los agregados más débiles y de menor tamaño.

3.2. Métodos de determinación indirecta

Se han propuesto algunos métodos que permiten inferir la friabilidad a partir del análisis de otras características del suelo, específicamente mediante la determinación de la curva de retención de agua del suelo (Dexter, 2004a) y la porosidad estructural del mismo (Guerif, 1990 y Munkholm *et al.*, 2002b).

3.2.1. Curva de retención de agua del suelo

Este método se basa en la correlación entre el índice de calidad física del suelo S , establecido por Dexter (2004a), y la friabilidad. Para ello se utiliza el punto de inflexión de la curva de retención de agua del suelo (Figura 7), que corresponde al máximo valor del índice de calidad física del suelo S , como una medida de la condición óptima de friabilidad (Dexter, 2004b; Santos *et al.*, 2011). De esta manera se

tiene una medida indirecta de la friabilidad puesto que, por sí mismo, el método no permite proporcionar información sobre la resistencia o la fragmentación del suelo (Munkholm, 2011).

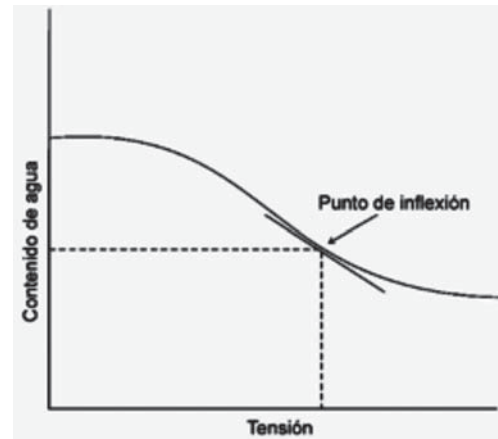


Figura 7. Punto de inflexión de la curva de retención de agua del suelo (máximo valor de S).

El índice de calidad física del suelo S , de acuerdo con Dexter (2004a), depende en gran medida de la porosidad microestructural del suelo, por lo tanto S influye directamente en muchas de las principales propiedades físicas del suelo. Dexter & Bird (2001), identificaron el contenido de agua que tiene el suelo en el punto de inflexión de la curva de retención de agua (máximo valor de S), como el contenido de agua óptimo para la labranza; en el que se produce el mayor número de pequeños agregados, o, por el contrario, el menor número de grandes agregados o terrones (Dexter, 2004b).

La correlación entre la friabilidad y la curva de retención de agua fue demostrada por Dexter (2004b), mediante su trabajo experimental con suelos de diferente friabilidad, contenido de agua y distribución de tamaño de agregados luego de ser labrados. Se demostró que la friabilidad fue lineal y correlacionó positivamente con el índice de calidad física, S .

3.2.2. Porosidad estructural

Este método consiste en estimar la friabilidad del suelo con base en la determinación del volumen de poros de diámetro equivalente mayor de 30 μm (Munkholm, 2011). Guerif (1990) y Munkholm *et al.* (2002b)

encontraron correlaciones significativas entre la resistencia del suelo y la macroporosidad y una correlación lineal negativa entre la resistencia del suelo y los volúmenes de poros mayores de 60 μm ($R^2=0.54^{***}$) y de poros mayores de 30 μm ($R^2=0.35^*$). Para Munkholm (2011, 2012), el uso de la macroporosidad o porosidad estructural constituye una alternativa metodológica para evaluar la friabilidad; sin embargo, presenta como limitante que incluye tanto las grietas como los bioporos y, adicionalmente, ella en sí misma no proporciona información sobre la resistencia del suelo. Al igual que el método basado en la curva de retención de agua, descrito anteriormente, este método corresponde a una estimación indirecta de la friabilidad (Munkholm, 2011); por lo tanto, a partir de ellos no es posible determinar ni la RR, ni la fragmentación del suelo.

3.2.3. Funciones de pedotransferencia

La estimación de la friabilidad a partir de funciones de pedotransferencia se fundamenta en la medición de otras propiedades del suelo como la densidad aparente, sortividad, contenido de carbono orgánico e índice de estabilidad de los agregados y, a partir de modelos de regresión, realizados para un determinado número de muestras, obtener un estimativo de la friabilidad (Macks *et al.*, 1996). Sin embargo, se requiere de mayor experimentación y una base de datos que incluya una gama amplia de tipos de suelos para confirmar la aplicabilidad de estas relaciones.

En general, son varias las opciones metodológicas disponibles para determinar la friabilidad de los suelos y, tal como señala Munkholm (2011), cada una de ellas mide diferentes aspectos de la friabilidad y se han utilizado para diferentes propósitos. Los métodos cualitativos y semicuantitativos son más accesibles a técnicos y agricultores, mientras que los métodos cuantitativos requieren un conocimiento y equipos más especializados.

Conclusiones

Existen diferentes métodos cualitativos para determinar la friabilidad del suelo, estos pueden realizarse directamente en campo de manera rápida y relativamente sencilla, pero su resultado es subjetivo y puede variar de un evaluador a otro. Adicionalmente se requiere determinar el contenido de agua del suelo al momento de realizar estas pruebas para obtener resultados aceptables, particularmente cuando se pretende determinar la friabilidad de diferentes tipos de suelos o en diferentes épocas de evaluación.

El método semicuantitativo -rompimiento del suelo por caída-, es sencillo, fácil de realizar y por lo tanto ofrece buen rendimiento en su ejecución, pero tiene la desventaja de proporcionar muy poca información sobre la resistencia del suelo y ser muy sensible a los cambios en el contenido de agua del suelo.

Los métodos cuantitativos ofrecen una información más objetiva, precisa y reproducible de la friabilidad, pero requieren para su realización equipos más complejos, preparación adecuada de la muestra, mayores lapsos de tiempo y personal más especializado.

Uno de los métodos más confiables para determinar la friabilidad de los suelos se fundamenta en la determinación de la resistencia del suelo al rompimiento. Este método cuantitativo ofrece la posibilidad de establecer la friabilidad del suelo mediante pruebas de compresión en terrones o agregados de diferente tamaño, en condición de suelo seco o a diferentes contenidos de agua.

Literatura citada

1. Ball, B.C., Batey, T., and Munkholm, L.J. (2007). Field assessment of soil structural quality – a development of the Peerlkamp test. *Soil Use Manage.* 23, 329-337.
2. Barzegar, A.R., Murray, R.X., Churchman, G.J.; Rengasamy, P. (1994). The strength of remoulded soils as affected by exchangeable cations and dispersible clay. *Aust. J. Soil Res.* 32, 185-199.

3. Barzegar, A.R., Oades, J.M., Rengasamy, P., Murray, R.S. (1995). Tensile strength of dry, remoulded soils as affected by properties of the clay fraction. *Geoderma* 65, 93-108.
4. Blanco – Moure, N., Angurel, L.A., Moret-Fernández, D., López, M.V. (2012). Tensile strength and organic carbon of soil aggregates under long-term no tillage in semiarid Aragon (NE Spain). *Geoderma* 189-190, 423-430.
5. Braunack, M.V., Hewitt, J.S., and Dexter, A.R. (1979). Brittle fracture of soil aggregates and the compaction of aggregate beds. *J. Soil Sci.* 30, 653–667.
6. Dexter, A.R. (1988a). Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.* 11, 199–238.
7. Dexter, A.R. (1988b). Strength of soil aggregates and of aggregate beds. *Catena Supplement* 11, 35–52.
8. Dexter, A.R. (1997). Physical properties of tilled soil. *Soil Till. Res.* 43, 41-63.
9. Dexter, A.R. (2004a). Soil physical quality Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. *Geoderma* 120, 201-214.
10. Dexter, A.R. (2004b). Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. *Geoderma* 120, 215–225.
11. Dexter, A.R. & Kroesbergen, B. (1985). Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. *J. Agr. Eng. Res.* 31, 139–147.
12. Dexter, A.R. & Watts, C.W. (2001). Tensile strength and friability. In: Smith, K.A., Mullins, C.E. (Eds.), *Soil and Environmental Analysis: Physical Methods*. Segunda edición. Marcel Dekker Inc, New York, pp. 405–433.
13. Dexter, A.R. & Bird, N.R. (2001). Methods for predicting the optimum and the range of soil water contents for tillage based on the water retention curve. *Soil Till. Res.* 57, 203–212.
14. FAO - Organization of the United Nations Food and Agriculture. (2009). *Guide for soil description*. Fourth edition. Rome, pp. 49-52.
15. Guérif, J. (1990). Factors influencing compaction-induced increases in soil strength. *Soil Till. Res.* 16, 167–178.
16. Guimarães, R.M.L., Tormena, C.A., Alves, S.J., Fidalski, J. & Blainski, E. (2009). Tensile strength, friability and organic carbon in an oxisol under a crop-livestock system. *Scientia Agricola. (Piracicaba, Brasil.)*, Vol.66, No4, 499-505.
17. Hadas, A. & Wolf, D. (1984). Refinement and re-evaluation of the drop-shatter soil fragmentation method. *Soil Till. Res.* 4, 237–249.
18. Hallett, P.D., Dexter, A.R. & Seville, J.P.K. (1995b). The application of fracture mechanics to crack propagation in dry soil. *Eur. J. Soil Sci.* 46, 591–599.
19. Imhoff, S., Da Silva, P.A. & Dexter, A.R. (2002). Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1656-1661.
20. Karlen, D.L., Erbach, D.C., Kaspar, T.C., Colvin, T.S., Berry, E.C. & Timmons, D.R., (1990). Soil tilth: a review of past perceptions and future needs. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54, 153-161.
21. Kay, B.D. & Dexter, A.R. (1992). The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a red-brown earth. *Aust. J. Soil Res.* 30, 297-310.
22. Macks, S.P., Murphy, B.W., Cresswell, H.P. & Koen, T.B. (1996). Soil friability in relation to management history and suitability for direct drilling. *Aust. J. Soil Res.* 34, 343-360.
23. Marshall, T.J. & Quirk, J.P. (1950). Stability of structural aggregates of dry soil. *Aust. J. Agr. Econ.* 1, 266–275.
24. Mullins, C.E., MacLeod, D.A., Northcote, K.H., Tisdall, J.M. & Young, I.M. (1990). Hardsetting soils: Behaviour, occurrence and management. *J. Adv. Soil Sci.* 11, 37-108.
25. Munkholm, L. J. (2011). Soil friability: A review of the concept, assessment and effects of soil properties and management (Review). *Geoderma* 167-168, 236–246.
26. Munkholm, L.J. & Kay, B.D. (2002). Effect of water regime on aggregate-tensile strength, rupture energy, and friability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 702-709.
27. Munkholm, L.J., Schjønning, P. & Kay, B.D. (2002a). Tensile strength of soil cores in relations to aggregate strength, soil fragmentation and pore characteristics. *Soil Till. Res.* 64, 125–135.
28. Munkholm, L.J., Schjønning, P., Debosz, K., Jensen, H.E. & Christensen, B.T. (2002b). Aggregate strength and mechanical behaviour of a sandy loam soil under long-term fertilization treatments. *Eur. J. Soil Sci.* 53, 129–137.
29. Munkholm, L.J., Heck, R.J. & Deen, B. (2012). Soil pore characteristics assessed from X-ray micro-CT derived images and correlations to soil friability. *Geoderma* 181-182, 22-29.
30. Peerlkamp, P.K. (1959). A visual method of soil structure evaluation. *Meded. v.d. Landbouwhogeschool en pzoekingsstations van de Staat te Gent. XXIV No. 24*, pp. 216–221.
31. Rahimi, H., Pazira, E. & Tajik, F. (2000). Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. *Soil Till. Res.* 54, 145-153.
32. Santos, G.G., da Silva, E., Marchao, R.B., da Silveira, P.M., Bruand, A., James, F. & Becquer, T. (2011). Analysis of physical quality of soil using the water retention curve: Validity of the S-index. *C. R. Geoscience* 343, 295-301.
33. Schjønning, P., Elmhout, S., Munkholm, L. J. & Debosz, K. (2002). Soil quality aspects of humid Sandy loams as influenced by organic and conventional long-term management. *Agr. Ecosyst. Environ.* 88, 195-214
34. Schjønning, P., De Jonge, L.W., Munkholm, L.J., Moldrup, P., Christensen, B.T. & Olesen, J.E. (2011). Clay

- dispersibility and soil friability-testing the soil clay-to-carbon saturation concept. *Soil Science Society of America Journal. Special section: Soil Architecture and Function*. Vadose Zone J. doi:10.2136/vzj2011.0067.
35. Seben, G. de F., Corá, J. E., Fernández, C. & Lal, R. (2013). Aggregate shape and tensile strength measurement. Technical Article. *Soil Sci.* 178 (6), 301-307.
36. Snyder, V.A., Vazquez, M.A., Martinez, G., Ramirez, L. & Hadas, A. (1995). Controlled displacement technique for measuring soil friability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59, 44–52.
37. USDA. (1993). Soil Survey Manual. Soil Survey Division Staff. Handbook No 18, pp. 173-181.
38. USDA. (2002). Field Book for Describing and Sampling Soils. Versión 2.0. National Soil Survey Center. Natural Resources Conservation Service, pp. 2-42/2-60.
39. Utomo, W.H. & Dexter, A.R. (1981). Soil friability. *J. Soil Sci.* 32, 203–213.
40. Watts, C.W. & Dexter, A.R. (1998). Soil friability: theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. *Eur. J. Soil Sci.* 49, 73–84.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 02 de 2016
Aceptado: septiembre 20 de 2016

Marco teórico para la construcción de una propuesta de turismo rural comunitario

Theoretical framework for the construction of a proposal of rural community tourism

Quadro teórico para a construção de uma proposta para o turismo rural

Martha Cecilia Vinasco Guzmán

Ingeniera Química, Especialista en Gerencia Estratégica de Mercadeo, Magister en Administración de las Organizaciones, Doctora en Desarrollo Sostenible.

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente –ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Pitalito, Huila, Colombia.

marta.vinasco@unad.edu.co

Resumen

El turismo rural comunitario se presenta como una receta para comunidades marginadas, habitantes de sitios ricos en recursos naturales y culturales que merecen ser conocidos por visitantes nacionales y extranjeros, sin tener en cuenta los elementos constitutivos de este tipo de turismo, que requiere del compromiso de todos los actores institucionales, económicos, ambientales y sociales, para que este ejercicio se convierta en una verdadera alternativa y no en despojo de los bienes naturales por empresas de capital que se apropian del manejo de los recursos o en una causa de deterioro ambiental. En el presente artículo se hace una revisión de las diversas investigaciones en torno al turismo rural comunitario, como un aporte al conocimiento de aspectos relevantes para hacer de éste una oportunidad de empoderar a las comunidades, promover sus emprendimientos en torno al turismo experiencial y mejorar los procesos de conservación de los recursos naturales.

Palabras clave: sostenibilidad, nueva ruralidad, agroturismo, conservación ambiental, comunidad.

Abstract

Rural community tourism is presented as a recipe for marginalized communities, inhabitants of sites rich in natural and cultural resources that deserve to be known by national and foreign visitors, without taking into account the constituent elements of this type of tourism, which requires the commitment of all the institutional actors, economic, environmental and social - so that this exercise will become a real alternative and not in dispossession of the natural goods by companies of capital that is appropriate for the management of the resources or in a cause of environmental degradation. In this article is a review of the various investigations into the rural community tourism as a contribution to the knowledge of relevant aspects to make this an opportunity to empower communities, promote their enterprises around the tourism experiential and improve the processes of conservation of natural resources.

Key-words: sustainability, new rurality, agrotourism, environmental conservation, community.

Resumo

O turismo rural comunitário é apresentado como uma receita para comunidades marginais, habitantes ricos em recursos naturais e culturais que merecem ser conhecidos por visitantes nacionais e estrangeiros, sem considerar elementos constitutivos deste tipo de turismo que requer do comprometimento de atores institucionais, económicos, ambientais e sociais, para que esse exercício seja convertido em uma verdadeira alternativa e não em despojo dos bens naturais por empresas de capital que apropriam-se do manejo

dos recursos ou causam deterioro ambiental. No presente artigo, é feita uma revisão das diversas pesquisas ao redor do turismo rural comunitário como aporte ao conhecimento dos pontos importantes para criar uma oportunidade de benefício às comunidades, promover os seus empreendimentos no que involucre o turismo experiencial e melhorar os processos de conservação dos recursos naturais.

Palavras-chave: sustentabilidade, nova ruralidade, agroturismo, conservação ambiental, comunidade.

Introducción

El desarrollo sostenible se entiende como aquel que conduce al crecimiento económico, al mejoramiento de la calidad de vida y del bienestar social, conservando los recursos naturales y el medio ambiente para satisfacer sus necesidades, pero respetando el derecho de las generaciones futuras a su explotación y disfrute. El concepto que tiene dos elementos: Medio Ambiente y Desarrollo, reconoce las relaciones entre la naturaleza y la sociedad, encuentra en el desarrollo un proceso de mejoramiento de sus condiciones de bienestar y de satisfacción y mejora de sus necesidades, pero a la vez, se asume que éste debe ser sostenible en el tiempo y propender por la equidad social, tendiendo a reducir la desigualdad y el deterioro ambiental.

El turismo se reconoce como motor de desarrollo a nivel mundial si se aborda a partir de la planificación y la participación comunitaria, puesto que permite generar recursos, distribuir los ingresos, emprender y desarrollar el potencial turístico, orientado a la conservación de los recursos del territorio y la identidad de los habitantes (Boisier, 2005), aprovechando la biodiversidad como una importante fuente de ingresos, donde el turismo y en especial el ecoturismo, se identifica como uno de los servicios que prestan los recursos naturales a la economía del país y que mayores expectativas de generación de recursos tiene a nivel mundial y nacional (Nivia, 1997). El turismo, en sus modalidades de ecoturismo y

agroturismo, es una actividad económica priorizada en los planes nacionales, regionales y locales de muchos países alrededor del mundo. El turismo sostenible es considerado como un modelo de desarrollo para mejorar la calidad de vida de las comunidades receptoras, facilitar al visitante una experiencia placentera y mantener la calidad del medio ambiente. Por tanto, se constituye en alternativa para comunidades asentadas en sitios con riqueza ambiental, generando desarrollo social y procesos de conservación ambiental.

Según la Organización Mundial del Turismo –OMT– el turismo sostenible es: “aquél que pretende satisfacer las necesidades de los turistas, así como de los destinos turísticos, protegiendo e incrementando las oportunidades de futuro”. Es decir, “gestionar los recursos de manera que las necesidades económicas, sociales y estéticas puedan ser satisfechas mientras se mantiene la integridad cultural, los procesos ecológicos esenciales, la diversidad biológica y los sistemas de vida” (Pérez de las Heras, 2008, p. 22).

Con este artículo se pretende ofrecer referentes teóricos que aporten elementos a la construcción de propuestas de turismo rural comunitario, que empoderen a las comunidades rurales y no, como se ha presentado ya en varias ocasiones, que se conviertan en situaciones de despojo y de lucro de

inversionistas, sin beneficios reales para los guardianes de los recursos, habitantes de los territorios biodiversos. Se trata de definir términos como nueva ruralidad, biocomercio, sostenibilidad, turismo rural, agroturismo y turismo comunitario.

Nueva ruralidad

De acuerdo a estudios realizados en América Latina, el empleo rural no agrícola genera entre el 30 y el 50% de los empleos adicionales en el campo, que provienen de actividades como servicios demandados por otros propietarios de predios y otras actividades como construcción, comercio, turismo o comercialización de productos producidos por ellos o por terceros. Estas actividades apuntan a equilibrar la oferta y demanda del mercado laboral y generan vínculos económicos entre las zonas rurales y urbanas (Kobrich & Dirven, 2007). Según los enfoques de desarrollo alternativo aplicados en experiencias por toda Latinoamérica, el concepto de Desarrollo Territorial Rural –DTR– se orienta a vincular el sector agrícola con otros sectores económicos, que afectan los recursos naturales, como agricultura, ganadería, pesca, minería, ecoturismo, cultivos bioenergéticos o servicios ambientales y actividades de transformación agroambiental, servicios, construcción o comercio (Boucher, 2000; Cabana & Maldonado, 2015).

Los lineamientos de la nueva ruralidad se orientan a la promoción del empleo e ingresos rurales no agrícolas, como una estrategia que permite combinar diversas actividades económicas. Entre las alternativas a la producción agraria convencional cobran cada vez más fuerza el turismo rural, la agricultura sostenible, las empresas de servicios rurales o el desarrollo de las artesanías locales (Hernandez, 2010). Dentro de este enfoque de la nueva ruralidad, se considera que el agroturismo es de carácter multidimensional, puesto que involucra lo ambiental debido a que las actividades turísticas implican administración y gestión de recursos naturales al considerar su sostenibilidad y la preservación de su biodiversidad biológica y lo político e institucional, puesto que las comunidades deben estar

involucradas en los procesos de toma de decisiones e igualmente, controlar lo que sucede en sus territorios (Muñoz, 2006). Por tanto, estas actividades económicas deben considerarse parte inherente a la actividad económica del medio rural y cobran especial valor en un contexto de desarrollo rural el manejo por parte de las comunidades de los ecosistemas estratégicos que mantienen la vida urbana y del aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

Otra consideración importante es que el turismo es una actividad económica que pertenece al sector terciario de la economía porque exige un alto volumen de mano de obra, con puestos altamente cualificados y otros con muy baja cualificación, incluyendo a grupos históricamente marginados como las mujeres o los jóvenes (Baromey, 2008). El abordaje de la problemática turística se plantea teniendo en cuenta los principios del Desarrollo Sostenible en sus tres componentes, económico, social y ambiental, desde el enfoque sistémico, como un problema de sistemas complejos, de acuerdo a lo desarrollado por otros autores en contextos latinoamericanos, como Castañares, Maddox & Maddox (2009). Dentro de este contexto, el turismo sostenible, se constituye en estos momentos en una alternativa para la generación de ingresos de comunidades marginadas, que viven en sitios alejados con una gran riqueza ambiental que se debe conservar, además de ser una alternativa de desarrollo idealizada por muchas comunidades que ven en esta actividad la posibilidad de generar recursos que les permitan salir de la marginalidad en que se encuentran.

Diversidad Biológica

Latinoamérica está conformada por países megadiversos, lo cual se manifiesta en su riqueza cultural y en la construcción permanente de saberes locales, derivada de la abundancia y variedad de su oferta ambiental. Sin embargo, esta riqueza está siendo sometida a un proceso acelerado de degradación y pérdida de diversidad debido a procesos que aceleran cambios de uso del suelo y de la cobertura vegetal, como la deforestación causada por la ampliación de la frontera agrícola, la ganadería extensiva,

los cultivos ilícitos en zonas de parques naturales, la tala selectiva de maderas preciosas, la construcción de obras de infraestructura, la introducción de especies que ponen en peligro la fauna y flora nativas, entre otras (Díaz, 2002; Caicedo, 2012).

Hay planteamientos de escuelas económicas que han implantado sus principios sobre los países del tercer mundo, donde establecen modelos de desarrollo que imponen: 1) la posibilidad de sustituir capital natural por capital económico; 2) la prolongada extracción de recursos naturales a través de una mayor eficiencia tecnológica; y 3) el sendero óptimo de explotación de recursos, dado por la relación entre usar un recurso en la actualidad o dejarlo para el futuro, según la tasa de interés del mercado (Zúñiga, 2012, pág. 86). Según Sukhdev (2008) el deterioro de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad se relacionan con la pobreza. La mayoría de los pobres del mundo generan sus ingresos directamente de la agricultura, ganadería, pesca y silvicultura ilegal y a su vez son los más afectados con el deterioro producido en los ambientes naturales. Igualmente, este autor afirma que los mercados no asignan valor económico a los beneficios de la conservación de los ecosistemas, sin embargo, si lo hacen con los productos y servicios que se derivan de ellos. Otros problemas consisten en que no hay claridad acerca de la tenencia de la tierra, debido a que muchas veces se han ocupado estos espacios de manera irregular, lo que puede generar una falta de apropiación que genera sobreexplotación y que a veces las políticas institucionales de desarrollo, fomentan la ocupación de territorios y su degradación.

Es de anotar que han surgido movimientos que se orientan a mejorar la calidad de vida de las familias en el campo, a partir del reconocimiento de las especies tradicionales, la producción de alimentos no contaminados, la conservación de la biodiversidad y de los recursos naturales, el impulso de formas asociativas y organizativas de trabajo y el rescate de los saberes populares y ancestrales como base del desarrollo, es decir que estos sistemas de producción campesina dan cabida a un gran número de ecosistemas con múltiples relaciones entre ellos (Giraldo

& Valencia, 2010). Sin embargo, ante la enorme diversidad de recursos biológicos y paisajísticos y los saberes y usos que las comunidades dan a sus recursos naturales, estas no cuentan con información acerca de su abundancia, disponibilidad, procesos de producción y comercialización y menos cuentan con planes de manejo ambiental que les permitan explotarlas de una manera legal, sostenible y sustentable (Vinasco, 2011). Para afrontar los retos de la conservación y dentro de un nuevo concepto, se supera el paradigma donde el estado era el único responsable de gestionar las acciones de conservación ambiental; en este momento se considera que los mercados están involucrados en estos procesos sin necesidad de que intervengan las administraciones nacionales, puesto que si los habitantes de los territorios se involucran en procesos de protección y encuentran en su usufructo beneficios económicos, esto va a generar un mejoramiento sostenible de las condiciones ambientales de los territorios.

Sostenibilidad y ecoturismo

La sostenibilidad es un concepto que tiene un significado amplio, pues abarca muchos aspectos (Muñoz, 2006), no solo en lo ecológico o ambiental, sino que involucra:

- Principios éticos al tener en cuenta la conservación del ambiente para el aprovechamiento de futuras generaciones.
- Principios económicos al propender por la utilización de los recursos de acuerdo a su capacidad para regenerarse.
- Como modelo sociopolítico, pues considera el ambiente como un factor a tener en cuenta en la toma de decisiones y
- Como principio jurídico pues, de acuerdo a compromisos internacionales, se deben desarrollar programas de conservación de ecosistemas y procesos ecológicos.

La Organización Mundial del Turismo, define el Turismo Sostenible como: “un modelo de desarrollo económico concebido para mejorar la calidad

de vida de la comunidad receptora, facilitar al visitante una experiencia de alta calidad y mantener la calidad del medio ambiente del que tanto la comunidad anfitriona como los visitantes dependen” (Muñoz, 2006, p. 40). La Unión Mundial para la Naturaleza WWF agrega elementos a esta definición, que debe ser un proceso que promueva la conservación, con bajo impacto ambiental y cultural y que promueva un involucramiento activo y beneficioso para las poblaciones locales (Jiménez Bulla, 2010). Los criterios globales del turismo sostenible ya no son un factor distintivo para la prestación de los servicios turísticos, sino que se imponen como una necesidad de todos los emprendimientos (Arguello *et al.*, 2017), que deben garantizar beneficios sociales contribuyendo al desarrollo comunitario; deben ser soportables ecológicamente a largo plazo disminuyendo el consumo de recursos; ofrecer beneficios económicos para el mejoramiento de la calidad de vida y ser equitativos desde una perspectiva ética y social para las comunidades locales (Martínez, Pitarch, García & Solano, 2005).

El turista actual es un consumidor activo, autónomo, que solicita productos turísticos a su medida, novedosos, sostenibles y amigables con el ambiente. Exige no solo la belleza escénica, la ausencia de ruido o basura, la salubridad del aire, agua y tierra sino la existencia de la biodiversidad propia de la zona, ojalá de especies únicas y la conservación de los recursos utilizados, entre otros. El deterioro ambiental o social de la zona resulta en una pérdida para las oportunidades turísticas (Acuña, 2013, Izquierdo, 2009). Además, tiene una creciente capacidad de elección, debida a la facilidad de acceso a la información que le dan las nuevas tecnologías, lo que hace que tenga a su alcance una gama amplia de ofertas de turismo y ocio. Es un consumidor activo, autónomo, diferenciado y exigente, que hace énfasis en la calidad de experiencias que se le ofrecen y que se caracteriza por su capacidad de elección en aspectos motivacionales, temporales y territoriales (Reyes & Barrado, 2005).

Biocomercio y turismo

Hay una aceptación general de que el turismo, por sus efectos en la generación de ingresos, se considera como una herramienta de desarrollo económico. El turismo es actividad económica productiva que causa la dinamización del conjunto del sistema económico, dado que en su desarrollo intervienen múltiples sectores de bienes y servicios, lo que hace de la actividad turística una gran generadora de empleo (Boucher, 2000; Maldonado, 2005; Kobrich & Dirven, 2007; Baromey, 2008). Por tanto, la creación de empleo y riqueza es un reto que deben afrontar los gobiernos y sus pobladores. Esto es particularmente crítico en pequeños municipios pertenecientes a regiones alejadas o en comunidades rurales que no cuentan con las herramientas de planificación y los recursos económicos para atraer inversión a sus territorios (Calderón, 2008; Condori, 2012; Ivars, 2001).

Los principios del biocomercio consideran que la biodiversidad es un factor de desarrollo por los servicios ambientales que nos presta y por los usos sostenibles y sustentables que podemos obtener de ella. El término biocomercio se refiere a “las actividades de recolección, producción, transformación y comercialización de bienes y servicios derivados de la biodiversidad nativa (recursos genéticos, especies y ecosistemas) que involucran prácticas de conservación y uso sostenible, y son generados con criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica” (Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo, 2007). El tema de la conservación ambiental es un factor de competitividad de las naciones y brinda oportunidades comerciales a los negocios que establezcan sistemas de gestión de la calidad ambiental, que determinen acciones de preservación del hábitat (Parra-Peña & Ramírez, 2009).

En Colombia se presenta la tendencia global del incremento de empresas que aprovechan los bienes y servicios de la biodiversidad, para atender a un segmento creciente de consumidores que adquieren productos en los que en su producción se minimizan los riesgos medioambientales y que involucran

procesos y criterios de equidad social en sus prácticas productivas (Lozada & Gómez, 2005). Este elemento diferenciador es atractivo para empresas turísticas comerciales nacionales e internacionales y un factor de competitividad del país y debe ser implementado también para los emprendimientos turísticos sin distinción de tamaño. Así mismo, las tendencias que impulsan el turismo rural son las exigencias de la transformación de los valores y estilos de vida, la consolidación de la cultura de lo ambiental, la concepción de lo natural y lo ecológico como bienes de consumo, la reacción frente al stress y a los modos acelerados de la vida urbana, que afectan a los visitantes en sus lugares de origen (Calderón, 2008).

Turismo Rural

En el auge del turismo rural se conjugan una serie de tendencias, como son la decadencia socioeconómica del mundo rural tradicional, las transformaciones de la demanda turística por productos que involucren conceptos como ecológico y natural y la concepción de las administraciones del turismo como una herramienta para el desarrollo (Barrera & Fernández, 2006; Baromey, 2008). En este artículo, se toma el concepto Turismo Rural de acuerdo a como lo define la OMT: “Conjunto de actividades que se desarrollan en un entorno natural, cuya premisa para el que las realiza es el contacto con la naturaleza, con la sociedad local y/o sus tradiciones”. Así es como se considera Turismo Rural a las modalidades de Turismo de Aventura, Turismo Ecológico, Agroturismo, Turismo de Estancias y Turismo Rural Cultural (SECTUR, 2007).

Dado que la agricultura enfrenta grandes retos, como los altos costos de producción, baja competitividad en mercados internacionales, escasa productividad y lenta desaparición de sus actores, el turismo rural puede ser una fuente no solo de ingresos adicionales sino de valoración de las actividades que tradicionalmente han realizado en sus fincas, sus productos nativos, sus usos culinarios, sus artesanías y sus maneras de solucionar sus problemas (Combariza, 2012; Condori, 2012). Un destino

de turismo rural es una zona con recursos naturales ligados a las actividades humanas, usualmente apartados de los centros urbanos, sin industrialización y que cuenta con patrimonio cultural y señas de identidad, con actividades económicas basadas en el aprovechamiento de los recursos naturales y en la producción de bienes a partir de estos recursos (Boucher, 2000; Barrera & Fernández, 2006; Inostroza, 2008).

En conclusión, el turismo rural es una suma de muchos elementos que se pueden desarrollar en los espacios rurales, como el turismo alternativo y blando, el turismo verde, el agroturismo, el turismo de deporte, el turismo de aventura, el turismo cultural, el turismo de pueblos, entre otros, que hacen muy amplia la definición de este tipo de turismo (Calderón, 2008; Valentim de Moraes, Emmendoerfer & Casstilha da Costa, 2013). Además de que en su desarrollo se involucran no solamente los prestadores de servicios sino toda la comunidad rural, dado que abarca mejoras en la infraestructura de educación, salud y vías, en las comunicaciones, uso de tecnología, empleo, mejores ingresos, entre otras (Barkauskas, Barkauskiené & Jasinskasc, 2015). El turismo rural se contempla como una opción que promueve las rentas agrarias, con la introducción de producciones agrarias no convencionales que implicarían alquileres de tierras y edificios para fines no agrarios, agroturismo, actividades recreativas, hospedajes y servicios de restauración, ocio activo, ventas al por menor o mayor y elaboración de productos agrarios y artesanales (Boucher, 2000; Maldonado, 2005; Kobrich & Dirven, 2007; Baromey, 2008; Calderón Vásquez, 2008).

Este tipo de turismo se orienta entonces a conocer la cultura y el aprovechamiento que hacen las comunidades locales de sus recursos naturales, por tanto, el visitante se integra, convive e interactúa en las actividades de la comunidad durante su permanencia en el predio, desarrollando actividades como pueden ser visitas a el acceso a las áreas naturales y al patrimonio cultural, talleres artesanales, gastronómicos o participación de actividades agrícolas o pecuarias, vivencias místicas, cabalgatas, aprendizaje de dialectos o de usos culinarios, agroturismo,

fotografía rural, eco arqueología y etnoturismo (Denman, 2001; SECTUR, 2007; Combariza, 2012; Condori, 2012; Flanigan, Blacstock & Hunter, 2014). El investigador Andrés Castrillón plantea: “Lo tecnocultural hace énfasis en los procesos productivos o en la expresión de la cotidianidad de los grupos sociales mediando prácticas ancestrales para la generación de manifestaciones que reafirman su identidad -artesánías, ritos, medicina tradicional, entre otras-, y que pueden convertirse en un producto turístico altamente motivador para determinado segmento del mercado” (Castrillón, 2010, p. 295).

Así mismo, la actividad turística en el medio rural tiene otras ventajas comparativas, como son las de brindar empleo proporcional de más mujeres y jóvenes que otros sectores, no presentar problemas de acceso a mercados o cuotas de exportación, mejorar la distribución geográfica del empleo en zonas periféricas y rurales; al igual que no se requieren capitales tan altos debido a que la base es el capital natural. Otros beneficios son la generación de tejido empresarial que se integra para la prestación del servicio y la tendencia a la sostenibilidad de estos emprendimientos, entre otras (Calderón, 2008). Con estas consideraciones se enmarca al turismo rural, dentro del que se encuentra el agroturismo, relacionando la prestación del servicio turístico a las actividades desarrolladas en los predios rurales que involucran en su desarrollo a turistas interesados en conocer la cultura propia de sus comunidades y a apoyar actividades productivas tradicionales que a su vez conservan el medio natural.

Agroturismo

El Agroturismo comprende las actividades realizadas en un establecimiento rural en producción, y que ofrece al visitante participación u observación de las actividades culturales de los predios productivos y alternativas de alimentación, participación en la elaboración de productos caseros, alojamiento y actividades complementarias como cabalgatas, caminatas, safaris fotográficos, entre otras (Vogel *et al.*, 2004). Asimismo, diversas organizaciones internacionales, como la OMT o la UICN -Unión Mundial

para la Conservación de la Naturaleza-, han mostrado su opinión sobre la necesidad de este enfoque sostenible y responsable de la actividad turística y en especial en el medio rural dada la fragilidad del medio en que se desarrolla con elementos naturales de singular valor (SECTUR, 2007).

En el caso del agroturismo, este supone una renta completaría a la actividad agrícola, lo que se traduce no en un aumento del empleo, pero si en el incremento de los ingresos, lo que incide directamente en el mejoramiento de la calidad de vida. Igualmente, se identifica al turismo rural como una actividad que no es un fin en sí mismo, sino un medio para dinamizar las economías rurales (Fariña & Higuera, 1999; Pérez *et al.*, 2012). En este sentido, se plantea la pluri-actividad agrícola como elemento básico del desarrollo rural que promueva la reconversión de la economía agrícola, para aprovechar las capacidades subutilizadas en las explotaciones agrícolas y permita ofrecer una agricultura de servicios, donde además de realizar actividades de producción, transformación y comercialización de productos agrícolas, se atienda la demanda turística y se preserven valores culturales y patrimoniales (Kobrich & Dirven, 2007; Palomo, 2008; Calderón, 2008). Para que el turismo rural y el agroturismo sean viables, deben ayudar al desarrollo socioeconómico de las localidades, modernizando las comunicaciones y el transporte, integrando las novedades que el ejercicio implica con la conservación, ofreciendo condiciones aceptables de acomodación a los visitantes, lo mismo que actividades que les permitan valorar las tradiciones, cultura, artesánías, gastronomía y disfrute del paisaje (Gavrila-Paven, 2015).

Los actores sociales en la prestación del servicio

En los destinos turísticos se incorporan varios agentes, desde los grandes operadores hasta prestadores de servicios de la comunidad receptora, que se pueden integrar para formar parte de destinos más grandes (World Tourism Organization, 2004). Sin embargo, gran parte de los negocios turísticos son de pequeños emprendedores, presentando

crecimiento en sitios periféricos que aún poseen problemas de desigualdad socioeconómica, donde se empodera a las comunidades de la gestión de los recursos naturales para convertirlos en atractivos turísticos (Valentim de Moraes, Emmendoerfer, & Castilho da Costa, 2013). En sitios de gran afluencia turística se presentan los intereses de los grandes capitales y se dan procesos de desplazamiento de los actores locales de sus ámbitos de actuación para garantizar la prestación de los servicios (Pérez, Zizumbo, Monterroso, & Madrigal, 2012). Es por esto que las comunidades a menudo perciben que el turismo beneficia a actores externos al territorio y por esta razón, no se involucran en procesos de conservación y protección ambiental (Puntscher, Tran Huy, Walde, Tappeiner, & Tappeiner, 2017).

En este sentido se establecen factores comunitarios al respecto del fenómeno turístico, que incluyen la preservación de la posesión colectiva del territorio, la fortaleza de sus estructuras organizativas, la participación colectiva en la toma de decisiones y las dinámicas de reciprocidad de las relaciones sociales, a la vez que factores externos como el financiamiento y la asesoría especializada (Pérez, Zizumbo, Monterroso, & Madrigal, 2012). Se intenta colocar a la comunidad como eje del proceso de desarrollo para darle la posibilidad de acceder a los recursos y de controlarlos; considerar a las propias personas pobres elementos valiosos además de asociados en el desarrollo y sacar partido de las instituciones existentes. La dinámica comunitaria se debe basar en dar a la colectividad herramientas para que potencien sus saberes y conocimientos para crear capacidades locales (Baumann, Bruno, Cleary, Dubois, & Flores, 2004). Esta interacción comunitaria inicia por conectar las redes de actores locales, para que promuevan, potencien y mantengan de manera conjunta los recursos de sus colectividades y se entiende como red el conjunto de relaciones formales o informales de cooperación, colaboración o integración entre empresas, instituciones y/o individuos que tienen como objetivo desarrollar acciones de turismo integrado en una región (Gonzales, 2010).

Los hábitos e interacciones entre los diferentes actores, se miden en el capital social, que evidencia

la colaboración entre los diferentes grupos de un colectivo humano y el uso que se les dé a las oportunidades surgidas de estas relaciones. Desde esta perspectiva, de acuerdo a diversos autores, (Vice-ministerio de Turismo, 2012; Denman, 2001; Barbini, 2007), el análisis de esta dinámica definirá como mejor posicionados los espacios rurales que:

- Cuenten con recursos con atractivos naturales especiales que puedan convertirse en un atractivo turístico, que tengan importancia y que merezcan ser conservados
- Que estos recursos puedan ser utilizados para actividades ecoturísticas sin que se generen impactos que sean irreversibles
- Valoren el turismo por parte de la comunidad y su vinculación con el desarrollo a escala local
- Lleguen a consensos sobre aspectos como el tipo de turismo que desean y su impacto en la comunidad
- Tengan capacidad de convocatoria y movilización de actores locales
- Tengan posibilidad de participar en torno a las decisiones acerca del desarrollo turístico
- Posean estructuras efectivas para que la comunidad pueda influir, manejar y beneficiarse del desarrollo y la práctica del turismo en sus diversas formas
- Posean diagnósticos locales sobre las fortalezas y debilidades, oportunidades y amenazas que pudiera provocar el turismo
- Cuenten con condiciones económicas y políticas favorables al desarrollo turístico
- Conozcan el potencial del mercado al que se van a dirigir
- Existan condiciones mínimas de acceso y comunicaciones para propios y visitantes
- Definan orientaciones estratégicas claras en cooperación con otros actores públicos y privados.
- Se tengan opciones claras para establecer las relaciones entre la comunidad y las empresas privadas de turismo.

Teniendo en cuenta estas opciones, se pueden precisar como limitaciones para el desarrollo turístico comunitario las enunciadas por Barbini (2007) y Gavrila-Paven (2015), descritas a continuación:

- Indefinición del tipo de destino a generar o falta de concordancia entre el producto turístico que se intenta poner en valor y las posibilidades reales de los lugares.
- Falta de conciencia turística, manifestada en indiferencia, apatía o ausencia de compromiso con la actividad.
- Limitada promoción de los destinos agroturísticos comunitarios.
- Escasos, o inexistentes, recursos económicos para promover el desarrollo de las actividades turísticas a nivel local.
- Falta de interés en el desarrollo de nuevos productos -dulces, repostería, artesanías, entre otros-, servicios -guianza, actividades recreativas- o en procesos de capacitación para mejorar el servicio turístico.
- Limitada oferta gastronómica que refleje la riqueza del lugar
- Escaso control y monitoreo de la actividad turística
- Insuficiente valoración del turismo como factor de desarrollo por parte de la comunidad
- Ausencia de visión acerca de las posibilidades objetivas y el potencial turístico de los recursos
- Sentido de pertenencia caracterizado por actitudes tradicionales, que no admiten nuevas propuestas de desarrollo
- Preferencia de la comunidad por el desplazamiento a otros lugares de mayor desarrollo económico
- Ausencia de liderazgo y falta de vinculación de los líderes comunitarios con los sectores más directamente vinculados con la actividad turística
- Carencia de innovación, interés, dinamismo e iniciativa en los sectores público y privado para realizar inversiones en torno al desarrollo turístico.

El desarrollo de emprendimientos turísticos con participación comunitaria de carácter incluyente, debe plantearse a partir de acciones a mediano plazo para lograr la consolidación de los productos turísticos, que no es inmediata, sino que requiere tiempo para la maduración de los procesos (Fundación Codespa, 2011). Esto genera que integrantes de la comunidad se desmotiven de la intención inicial y deserten o que se desmejoren los servicios ofertados inicialmente, repercutiendo directamente en la satisfacción del turista. Diversos estudios han determinado que en los países

en vías de desarrollo donde el turismo es un fenómeno estacional, no es posible que se abandonen las labores agropecuarias para derivar el sustento únicamente de las actividades turísticas y estas se convierten en una alternativa para conseguir ingresos adicionales, lo que dificulta la especialización del personal o la inversión en mejoras para la prestación de los servicios (Vinasco, 2016). Es de anotar que es la mayoría de los países priorizan la competitividad en el turismo como un motor del desarrollo, que debe ser meta común en los planes regionales y locales. Sin embargo, muchos de ellos reconocen como limitaciones la baja capacidad institucional para formular y ejecutar planes tendientes a orientar el desarrollo turístico, al igual que la escasa oferta de productos turísticos, la baja calidad del servicio y la insuficiente infraestructura de soporte para el desarrollo de la actividad (Vinasco & Méndez, 2015). Los objetivos orientados a la sostenibilidad en el turismo comunitario, dada la amplitud de requisitos y condiciones que deben cumplirse, dificultan enormemente su aplicación práctica, por tanto, su desarrollo debe irse ajustando a partir de la permanente gestión para la resolución de conflictos, la comunicación intercultural y la reflexión crítica sobre los fenómenos que se presentan en los territorios (Prince & Loannides, 2017).

A manera de conclusión

Se debe impulsar la búsqueda de la diversificación de la oferta turística, que incluya a las comunidades asentadas en los territorios, lo cual permitirá encontrar líneas de desarrollo innovadoras, apropiación de los mecanismos tecnológicos, integración de los empresarios turísticos y priorización de una oferta turística basada en la calidad con enfoque de sostenibilidad económica, social y ambiental.

Las administraciones deben promover en sus habitantes la importancia del turismo y del turista, como un aliado que les va a permitir mejorar su infraestructura en aspectos como vías, oferta de servicios educativos, comerciales, recreativos y de salud; atracción de inversiones para proyectos que generen desarrollo y procesos de conservación del patrimonio cultural y ambiental.

El agroturismo, que implica la visita a emprendimientos rurales para conocer las actividades agropecuarias e involucrarse en las mismas, promueve el desarrollo de emprendimientos que generan recursos como el alojamiento y la alimentación, las ventas directas de los productos o de artesanías o la prestación de servicios como alquiler de caballos, guanzas, prácticas de siembras o cosechas, pesca o preparación de alimentos entre muchos otros, lo que genera ingresos adicionales a las actividades tradicionales pero que al menos inicialmente no puede sustituir los ingresos para las familias campesinas.

Es necesario desarrollar programas que permitan a la población la apropiación de los valores culturales e históricos, sensibilización para la conservación de los recursos naturales y de los atractivos turísticos, para darles un aprovechamiento responsable y sostenible, en razón a que la participación e inclusión de la población es importante para el desarrollo económico, social y turístico de las regiones.

El desarrollo agroturístico de las regiones debe pasar por el empoderamiento de las comunidades, para que aprovechen esta oportunidad de generar emprendimiento en torno al turismo experiencial y el gran negocio del turismo nacional e internacional no quede solo en manos de grandes inversionistas de fuera del territorio y no queden beneficiándose únicamente por el empleo en emprendimientos ajenos, sin manejar los recursos naturales que son disfrutados por los turistas.

Literatura citada

1. Acuña Dutra, S. J. (2013). Metodología para la evaluación de la sostenibilidad de las actividades de turismo en las áreas protegidas mediante el empleo de las técnicas ANP y Delphi. Caso de estudio: Parque Nacional Archipiélago Los Roques. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
2. Arguello Guadalupe, C., Fiallos Ortega, L. R., Chinchuela, M. F., Díaz Moyota, P. B., Verdugo Bernal, C. M., Jara Santillan, C. A., & Quezada Piray, M. I. (2017). Rentabilidad y sostenibilidad económica, ambiental y social en áreas protegidas aseguradas a través del modelo de gestión estudio de caso: refugios carrel ywhymper reserva Chimborazo. *European Scientific Journal*, 13(2), 77 - 99. Recuperado de <http://www.europeanjournal.org/index.php/esj/article/view/8712>
3. Barbini, B. (2007). Desarrollo turístico, actores locales y capital social. Análisis en base a un estudio de caso. Presentado en Jornadas Nacionales, 8. Simposio Internacional de Investigación-Acción en Turismo, Posadas - Argentina.
4. Barkauskas, V., Barkauskienė, K. & Jasinskasc, E. (2015). Analysis of macro environmental factors influencing the development of rural tourism: Lithuanian case. Analysis of macro environmental factors influencing the development of rural tourism: *Lithuanian case*, 213, 167 – 172. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.11.421>
5. Baromey, N. (2008). Ecotourism as a Tool for Sustainable Rural Community Development and Natural Resources Management in the Tonle Sap Biosphere Reserve. Kassel: Kassel university press. Recuperado de http://www.upress.uni-kassel.de/katalog/abstract_en.php?978-3-89958-465-3
6. Barrera, E. & Fernandez, F. (2006). Turismo Rural: Situación Actual, Abordaje y Perspectivas. Biblioteca Virtual - Cuadernos FODEPAL, 32. Proyecto Regional de Cooperación Técnica para la Formación den Economía y Políticas Agrarias y de Desarrollo Rural en América Latina.
7. Baumann, P., Bruno, M., Cleary, D., Dubois, O. & Flores, X. (2004). Aplicación de estrategias de desarrollo enfocadas hacia las personas en el ámbito de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma: FAO - Programa de Apoyo a los Modos de Vida Sostenibles (LSP). Recuperado de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/j3137s/j3137s00.pdf>
8. Boisier, S. (2005). Competitividad Regional: Conceptos Básicos y Aplicación de Medición a las Regiones Chilenas. Departamento de Economía Aplicada, Universidad de Alcalá de Henares.
9. Boucher, F. (2000). Agroindustria Rural en el Horizonte del 2000. Lima: IICA. Centro Regional Andino.
10. Caicedo Burbano, I. H. (2012). Guía Básica con las determinantes ambientales para la incorporación de la biodiversidad y las áreas protegidas en Planes, Planes Básicos y Esquemas de Ordenamiento Territorial. Recuperado de CRC Corporación Autónoma Regional del Cauca: http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbienta/SIRAP/GUIA_POT_SIRAP_FINAL.pdf
11. Calderón Vásquez, F. (2008). Sostenibilidad y planificación: ejes de desarrollo turístico sostenible. *Delos, Revista Desarrollo Local Sostenible*, 3(8), 1-11.
12. Castañares Maddox, E. & Maddox, E. (2009). Sistemas complejos y gestión ambiental, el caso del Corredor Biológico Mesoamericano México. Serie: Colección Corredor Biológico Mesoamericano México, conocimientos, acciones, diálogos., 65.
13. Castrillón Muñoz, A. J. (2010). El desarrollo turístico del departamento del Cauca (Colombia). Una visión

- desde la academia (Primera ed.). Popayán, Colombia: Universidad del Cauca.
14. Combariza González, J. (2012). El turismo rural como estrategia de desarrollo sostenible: caso municipio de La Mesa (Cundinamarca). (Tesis de Magister) Ciencias Agrarias con énfasis en Desarrollo Empresarial Agropecuario. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/7290/1/790705_2012.pdf
 15. Condori Cordero, S. (s.f.). Turismo rural comunitario en cinco comunidades del municipio de San Lucas Chuquisaca, Bolivia. Cartago, Costa Rica: Asociación Latinoamericana de Sociología Rural. Recuperado de <http://catalogo.sinabi.go.cr/janium-bin/detalle.pl?id=20170513194718>
 16. Conferencia de las Naciones Unidas Sobre Comercio y Desarrollo. (2007). Principios y Criterios de Biocomercio. Recuperado de UNCTAD Iniciativa BioTrade: http://www.unctad.org/sp/docs/ditcted20074_sp.pdf
 17. Denman, R. (2001). Directrices para el desarrollo del turismo comunitario. Londres: WWF Internacional.
 18. Diaz P., S. (2002). Algunas notas relativas a la diversidad colombiana. Revista *La Tadeo, Número 67* U. J. T. L.
 19. Fariña, J. & Higuera, E. (1999). Turismo y Uso Sostenible del Territorio. Madrid: Instituto Juan de Herrera. Recuperado de <https://goo.gl/XahWz2>
 20. Flanigan, S., Blackstock, K. & Hunter, C. (2014). Agritourism from the perspective of providers and visitors: a typology-based study. *Tourism Management, 40*, 394-405. doi:10.1016/j.tourman.2013.07.004
 21. Fundación Codespa. (2011). Modelo de gestión del turismo rural comunitario de CODESPA (Primera ed.). Lima, Perú, Perú: Fundación CODESPA - BID-FOMIN.
 22. García Cabana, A. & Alba Maldonado, J. (2015). Diagnóstico de las transformaciones en los ecosistemas estratégicos de la ecorregión de Sogamoso por efecto de las políticas de desarrollo rural y urbano del periodo 2000-2010. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental (RIAA), 2(2)*, 97-103. Recuperado de <http://hemeroteca.unad.edu.co/entrenamiento/index.php/riaa/article/view/919>
 23. Gavrila-Paven, I. (2015). Tourism opportunities for valorizing the authentic traditional rural space – study case: Ampoi and mures valleys microregion, alba county, romania. *Procedia - Social and Behavioral Sciences(188)*, 111 – 115. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.03.345>
 24. Giraldo Díaz, R. & Valencia T., F. (2010). Evaluación de la sustentabilidad ambiental de tres sistemas de producción agropecuarios, en el corregimiento Bolo San Isidro, Palmira (Valle del Cauca). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 1(2)*, 7-17. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/900/895> doi:<http://dx.doi.org/10.22490/21456453.900>
 25. Gonzales Torrerros, L. (2010). Modelo Turístico Sustentable para el municipio de Tequila, Jalisco, México: Una perspectiva del desarrollo local. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México: Universidad de Guadalajara. Recuperado de <http://topofilia.net/tesis-doc-torreros.pdf>
 26. Hernandez Pulgarín, H. (2010). Territorio, turismo y competitividad. Metáforas de éxito y deseo de progreso en el Medio Magdalena. *Revista Luna Azul*. Recuperado de http://200.21.104.25/lunazul/downloads/Lunazul31_08.pdf
 27. Inostroza V., G. (2008). Aportes para un modelo de gestión sostenible del turismo comunitario en la región Andina. *Gestión Turística (10)*, 77 - 90. Obtenido de <http://mingaonline.uach.cl/pdf/gestur/n10/art06.pdf>
 28. Ivars Baidal, J. A. (2001). Planificación y gestión del desarrollo turístico sostenible: propuestas para la creación de un sistema de indicadores. Instituto Universitario de Geografía - Universidad de Alicante.
 29. Izquierdo M., G. (2009). Desarrollo Insostenible. *Revista Javeriana*, 4-6.
 30. Jiménez Bulla, L. H. (2010). Ecoturismo, oferta y desarrollo sistémico. Bogotá D.C.: Ecoe Ediciones.
 31. Kobrich, C. & Dirven, M. (2007). Características del empleo rural no agrícola en América Latina con énfasis en los servicios. Naciones Unidas - Cepal. Recuperado de <http://www.eclac.org/ddpe/publicaciones/xml/1/28821/LCL2659e.pdf>
 32. Lozada Perdomo, P. & Gómez Díaz, J. A. (2005). Análisis del desarrollo empresarial de 100 iniciativas de biocomercio sostenible en Colombia. Bogotá, Colombia: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
 33. Maldonado, C. (2005). Pautas metodológicas para el análisis de experiencias de turismo comunitario. Ginebra: Red de Turismo Sostenible para América Latina (REDTURS). Recuperado de http://oit.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/publication/wcms_117525.pdf
 34. Martínez Agraz, A., Pitarch Archelós, J. E., García Atarés, S. & Solano Paola, J. (2005). Los recursos naturales como factor de desarrollo. Obtenido de Gobierno de Aragón - Departamento de Agricultura, Ganadería y Medio Ambiente. Recuperado de: http://www.aragon.es/estaticos/ImportFiles/06/docs/%C3%81reas/EducaSensib/Sensibilizaci%C3%B3nAmbiental/Campa%C3%B1as/TurismoSostenible/PonenciasPresentadas/RECURSOS_NATURALES.pdf
 35. Muñoz Flores, J. C. (2006). Turismo y sostenibilidad en espacios naturales protegidos. Girona: Universitat de Girona.
 36. Nivia, D. (1997). Documento interno. Ecoturismo en Colombia. Bogotá: Instituto Alexander von Humboldt.
 37. Palomo Pérez, S. (2008). Calidad, comercio justo y financiación externa en el turismo rural comunitario. Aproximación al caso de Perú. Perú.
 38. Parra-Peña, R. I., & Ramírez J., J. (2009). Escalafón de la competitividad de los departamentos en Colombia 2006. Recuperado el 16 de Julio de 2010, de Cepal, Serie Estudios y Perspectivas. Recuperado de: <http://www.eclac.org/colombia/noticias/documentosdetrabajo/5/35725/LCL2684-P.pdf>

39. Pérez de las Heras, M. (2008). Manual del turismo sostenible: cómo conseguir un turismo social, económico y ambientalmente responsable (Primera Edición ed.). España, España: Mundi-Prensa.
40. Pérez, C., Zizumbo, L., Monterroso, N. & Madrigal, D. (2012). Marco Metodológico para el estudio del turismo rural. *Estudios y perspectivas en turismo*, 21, 436-460.
41. Prince, S. & Loannides, D. (2017). Contextualizing the complexities of managing alternative tourism at the community-level: A case study of a nordic eco-village. *Tourism Management* (60), 348-356. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.12.015>
42. Puntischer, S., Tran Huy, D., Walde, J., Tappeiner, U. & Tappeiner, G. (2017). The acceptance of a protected area and the benefits of sustainable tourism: In search of the weak link in their relationship. Innsbruck Austria: University of Innsbruck - Working Papers in Economics and Statistics. Recuperado de <https://eeecon.uibk.ac.at/wopec2/repec/inn/wpaper/2017-08.pdf>
43. Reyes Ávila, B. & Barrado Timón, D. A. (2005). Nuevas tendencias en el desarrollo de destinos turísticos: Marcos conceptuales y operativos para su planificación y gestión. *Cuadernos de Turismo*, 27-43.
44. SECTUR. (2007). Elementos para Evaluar el Impacto Económico, Social y Ambiental del Turismo de Naturaleza en México. Ciudad de México: Universidad Autónoma Latinoamericana.
45. Sukhdev, P. (2008). La Economía de los ecosistemas y la biodiversidad. European Commission. Recuperado de: http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report_es.pdf
46. Valentim de Moraes, W., Emmendoerfer, M. & Castilho da Costa, N. (2013). Las buenas prácticas del turismo de base comunitaria en el territorio de la Serra do Brigadeiro (Minas Gerais, Brasil). *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 22, 1074 - 1095.
47. Viceministerio de Turismo. (2012). Política de Turismo de Naturaleza. Bogotá: Dirección de Calidad y Desarrollo Sostenible del Viceministerio de Turismo.
48. Vinasco Guzmán, M. C. (2011). Determinación y evaluación de productos de la biodiversidad con potencial comercial en un grupo organizado de productores en la zona de influencia del Corredor Ecoarqueológico del sur del Huila. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 2 (2), 65-75. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/918/912> doi:<http://dx.doi.org/10.22490/21456453.918>.
49. Vinasco Guzmán, M. C. (2016). Propuesta de una metodología para el desarrollo de un modelo de agroturismo sostenible en espacios protegidos. Aplicación al Parque Natural del Corredor Biológico Guacharos Puracé (Colombia). Ávila, España. (Tesis Doctorado) Desarrollo Sostenible. Universidad Católica de Ávila. Recuperado de <https://ucav.odlotk.es/opac/?id=00046061>
50. Vinasco Guzmán, M. C. & Méndez Pedroza, N. M. (2015). Análisis de la competitividad de asociaciones de productores que prestan servicios ecoturísticos en los municipios de San Agustín y Pitalito, Departamento del Huila. *Revista Libre Empresa*, 12 (1), 29-44. doi:<http://dx.doi.org/10.18041/libemp.v23n1.23102>
51. Vogel, M., Lombardo, L., Gazzera, M. A., Quadri, F., Contreras, S., Sepúlveda, M. & Pérez, C. (2004). Turismo rural modalidad agroturismo: una alternativa de desarrollo para la zona norte de la provincia de Neuquen. *Anuario de Estudios en Turismo*, 3, 83 - 101. Recuperado de <http://170.210.83.98:8080/jspui/handle/123456789/169>
52. World Tourism Organization. (2004). Indicators of Sustainable Development for Tourism Destinations: A Guidebook (Primera Edición ed.). Madrid, España: World Tourism Organization, Madrid, Spain.
53. Zúñiga M., Ó. (2012). Reflexiones ante los indicadores de desarrollo y los desafíos ambientales. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 3 (1), 85-88. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/941/936> doi:<http://dx.doi.org/10.22490/21456453.941>.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 06 de 2016
Aceptado: septiembre 23 de 2016

Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia

Biofilter with rice husk and vetiver grass (Chrysopogon Zizanioides) for the treatment of effluent from the WWTP of INPEC - Yopal, Casanare, Colombia

Biofiltro com casca de arroz e vetiver (Chrysopogon Zizanioides) para o tratamento de efluente da PTAR INPEC - Yopal, Casanare, Colômbia

Sandy Kathyryne Higuera Infante

Ingeniera Ambiental, Candidata a especialista en Educación Superior a Distancia, Grupo de Investigación Cazao, Semillero Desarrollo Sostenible, Egresada de la UNAD.

Grupo de Investigación CAZAO. Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente – ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Yopal, Casanare, Colombia.

higuera.sandy@gmail.com

Resumen

En la investigación se evaluó un biofiltro a escala laboratorio para el tratamiento del efluente de la PTAR del Inpec de Yopal, Casanare, cuya finalidad era lograr un efluente de calidad óptima para reúso del agua en riego agrícola. Se contemplaron tres fases, la primera caracterización y análisis de los parámetros microbiológicos como fisicoquímicos del efluente. La segunda fase diseño y construcción del sistema a escala laboratorio del humedal artificial, se construyó en vidrio, usando cascarilla de arroz, intercalada con grava, se sembró pasto vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) y se inundó el sistema para que funcionará con flujo subsuperficial, el tiempo de retención hidráulico TRH fue de 3.4 días. La desinfección con cloro se diseñó a partir de una prueba de demanda de cloro. La tercera fase consistió en la operación del sistema a flujo continuo, el seguimiento se realizó a

través de 4 muestreos con frecuencia semanal, en dos de estos muestreos se incluyó medición de DBO_5 , coliformes totales y fecales y conductividad. Los resultados mostraron que la cascarilla de arroz como sustrato funciona bien, las plantas crecieron permanentemente, ayudando a disminuir la carga orgánica. Como conclusión la cascarilla puede ser un sustituto total o parcial de otros sustratos de biofiltros o humedales de flujo subsuperficial, al ser menos costosa y estar disponible especialmente en la región de la Orinoquía. Sin embargo, su uso debe complementarse con un proceso de reoxigenación del agua, ya que su condición anaerobia es un aspecto negativo para los cuerpos de agua receptores de vertimientos.

Palabras clave: agua residual, humedal artificial, flujo subsuperficial

Abstract

The research evaluated a biofilter to scale laboratory for the treatment of the effluent from the WWTP of Inpec from Yopal, Casanare, whose purpose was to achieve an effluent of optimum quality for agricultural irrigation water reuse. Three phases were watched, the first characterization and analysis of the microbiological parameters as physico-chemical effluent. The second phase design and construction of the system to scale laboratory of the artificial wetland, was built in glass, using rice husks, interspersed with gravel, was sown grass vetiver (*C. zizanioides*) and flooded the system so that it will work with subsurface flow, hydraulic retention time TRH was 3.4 days. Disinfection with chlorine was designed from a test of chlorine demand. The third phase consisted in the operation of the continuous flow system, monitoring was carried out through 4 samplings often weekly, in two of these surveys included measurement of BOD₅, total and faecal coliforms and conductivity. The results showed that the husk of rice as a substrate works well, the plants grew permanently, helping to reduce organic loads. Conclusion quinine can be a substitute all or part of other substrates to biofilters or subsurface flow wetlands, being less costly and be available especially in the region of the Orinoco. However, its use must be complemented with a process of reoxygenation of water, since its anaerobic condition is a negative aspect to the receiving water bodies of dumping.

Key-words: residual water, artificial wetlands, subsurface flow.

Resumo

Nesta pesquisa foi avaliado um biofiltro em laboratório para o tratamento do efluente da PTAR do Inpec de Yopal, Casanare, com o objetivo de conseguir uma efluente de ótima qualidade para ser reutilizado na irrigação agrícola. Completaram-se três fases, a primeira fase foi a caracterização e análises dos parâmetros microbiológicos e físico-químicos do efluente. A segunda fase foi desenho e construção do sistema em laboratório de um pantanal artificial, a construção foi feita em vidro, usando casca de arroz, intercalada com grava, foi plantado pasto vetiver (*C. zizanioides*) e o sistema foi alagado para que funcionara com fluxo subsuperficial, o tempo de retenção hidráulico TRH foi de 3,4 dias. A desinfecção com cloro foi feita a partir de um teste de demanda de cloro. A terceira fase foi a operação do sistema de fluxo contínuo, o acompanhamento foi realizado através de 4 amostragens com frequência semanal, foi feita a mensuração de DBO₅ em duas das amostragens, assim como coliformes totais e fecais e condutividade. Os resultados mostraram que a casca de arroz como substrato funciona bem e a plantas cresceram continuamente, ajudando a diminuir a carga orgânica. Como conclusão, a casca de arroz pode ser um substituto total ou parcial de outros substratos de biofiltros ou pantanais de fluxo subsuperficial ao ser menos custosa e ser disponibilizada especialmente na região da Orinoquia. No entanto, seu uso deve ser complementar com um processo de re-oxigenação da água devido a que sua condição anaeróbia é um ponto negativo para os corpos de água receptores de vertimientos.

Palavras-chave: água residual, pantanal artificial, fluxo subsuperficial.

Introducción

La escasez de agua en el mundo ha llevado a buscar cada vez más alternativas para el abastecimiento de este vital líquido además de la conservación del mismo. En ese sentido el reúso de las aguas residuales es una estrategia de ahorro y uso eficiente del agua, fundamental para el modelo de desarrollo sostenible. En muchos lugares se ha aumentado el reúso de las aguas residuales por pequeños o grandes agricultores, debido a la escasez de agua de

las fuentes hídricas convencionales. Por tal motivo representa un reto seleccionar tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, creando la necesidad de desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas, basados en tecnologías naturales de depuración, como humedales artificiales (Espinosa, 2014). A nivel Mundial se han establecido directrices para el reúso de las

aguas residuales, las cuales han aumentado considerablemente en los últimos años, esto debido a la preocupante escasez de agua. Uno de los aspectos importantes en el reúso de agua son los requisitos mínimos de calidad que deben tener las aguas reutilizadas, con el fin de garantizar que organismos patógenos presentes en éstas no entren en contacto con las personas. (Manga, Logreira, & Serralt, 2001). Actualmente en Colombia se cuenta con una normatividad que incluye criterios de calidad que debe cumplir el agua residual para reúso, de tal manera que no genere daños ni a la salud humana ni al medio ambiente. Según el IDEAM se prevé que para el año 2016 aproximadamente el 70% de la población urbana en Colombia tendrá un déficit en el suministro de Agua Potable. Esto produciría efectos económicos, sociales y ambientales que se sumaran a la ya complicada problemática de Colombia. (Manga, Logreira, & Serralt, 2001). Por estas problemáticas se genera la necesidad de crear tecnologías que permitan el reúso del agua residual en riego. En el departamento de Casanare, Colombia, se está creando una cultura para cumplir la norma de reúso de aguas residuales tratadas, resultantes de las actividades de los diversos sectores productivos. La resolución 1207 de 2014 formulada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

determina la utilización de aguas residuales tratadas cumpliendo con los criterios de calidad requeridos para el uso que se vaya a destinar, ya sea para el sector industrial, agrícola o para ornato y mantenimiento de áreas verdes. (Pineda, 2014).

Metodología

Para la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales con la tecnología de humedales artificiales a escala laboratorio, se tuvieron en cuenta las siguientes actividades: recopilación de información de la PTAR INPEC, diseño de planta a escala laboratorio, y monitoreo y seguimiento a la calidad del agua.

Zona de Estudio: La investigación se desarrolló en el establecimiento penitenciario y carcelario de Yopal, Casanare, Colombia, ubicado en el km 12 Vía Yopal – Aguazul, actualmente cuenta con un terreno de 440.000m². De los cuales 64.661m² constituyen la infraestructura del penal y el restante se encuentra destinado para el desarrollo de actividades agropecuarias. En el centro se cuenta con aproximadamente 200 reclusos, la Figura 1 muestra las instalaciones del INPEC.



Figura 1. Instalaciones INPEC Yopal

Fuente: <http://www.inpec.gov.co>

Descripción de la PTAR existente: La planta de tratamiento de aguas residuales tiene un caudal de entrada de 12 L/s, es de tipo aerobio, su vertimiento va al caño Guavinas, según los análisis realizados por los laboratorios ANALQUIM la PTAR cumple con la norma para vertimientos. La PTAR del INPEC, se compone de dos reactores biológicos de lodos activados por aireación extendida como tratamiento principal, que permite la remoción de los contaminantes orgánicos presentes en el agua

residual que son captados y transportados por el sistema de recolección de aguas residuales dentro del establecimiento. Adicionalmente, el sistema de tratamiento cuenta con estructuras de operación unitaria que permiten la remoción de grasas, aceites, sólidos suspendidos, microorganismos patógenos, entre otros, la Figura 2 muestra el diagrama de flujo del sistema de tratamiento existente. (ACUAMEUNIER, 2016).

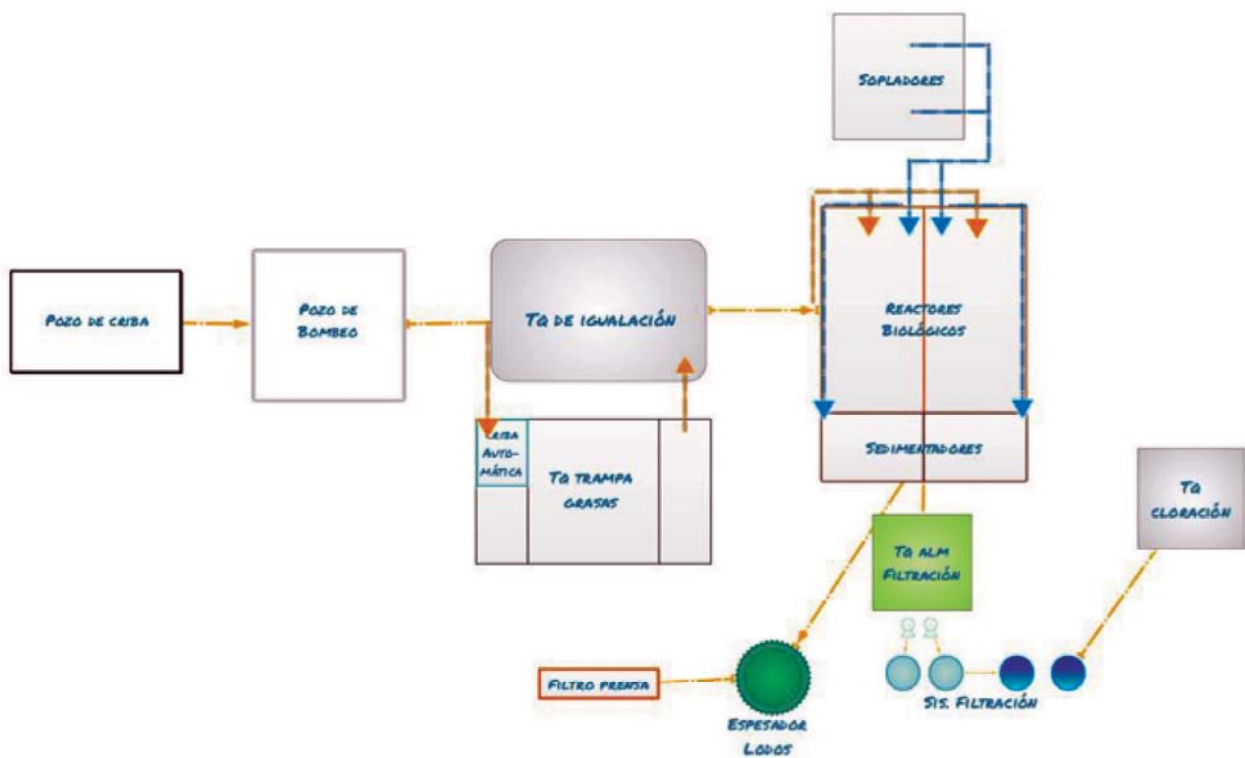


Figura 2 Diagrama de Flujo del sistema de tratamiento

Fuente: ACUAMEUNIER, 2016.

Diseño de prototipo a escala de laboratorio: Para el diseño y construcción del prototipo a escala laboratorio se tuvieron en cuenta dimensiones de acuerdo a la disponibilidad de espacio en el laboratorio del CEAD Yopal, los criterios o recomendaciones

para el diseño se tomaron de proyectos similares consultados (Borrero, 1999; Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010; Otálora, 2011), y practicidad en la construcción, en la Tabla 1 se presentan los criterios de diseño del prototipo.

Tabla 1. Parámetros de diseño del prototipo

Parámetros de Diseño							
Sustrato	Plantas	Tiempo de Retención Hidráulico (TRH)	Caudal Tratado	Largo	Ancho	Profundidad Total	Profundidad del Sustrato
Grava y Cascarilla de Arroz	Pasto Vetiver	3,4 días	24 ml/min	1,5 m	50 cm	50 cm	0,35 m

Teniendo en cuenta las dimensiones del prototipo se realizó el cálculo del caudal, teniendo en cuenta la porosidad del sustrato (grava 35% y cascarilla 54%), el promedio de las dos es 44,5%, y el TRH se obtuvo realizando aforos del caudal de salida del tanque de almacenamiento entre un rango de 13,51 ml/min a 26,3 ml/min, lo que dio como resultado un TRH medio de 3.4 d. Teniendo el promedio del tiempo de retención hidráulica que se trabajó en el humedal se halló el caudal deseado con la ecuación 1.

$$Q=V/TRH \quad (1)$$

Primero se determina el volumen útil del sustrato en m³ teniendo en cuenta la porosidad del sustrato y el volumen interno, de acuerdo a ecuación 2.

$$V= 0.2625 \text{ m}^3 \times 44,5\% = 0,117 \text{ m}^3 \quad (2)$$

Una vez obtenido se divide el volumen por el TRH obtenido de los aforos, ecuación 3

$$Q= 0,117 \text{ m}^3/3,4 \text{ días} = 0.0344 \text{ m}^3/\text{d} \quad (3)$$

Se realiza una conversión L/d y luego a mL/min para poder realizar el aforo diario teniendo en cuenta el caudal que se obtuvo, ecuación 4.

$$Q= 0.0344 \text{ m}^3/\text{d} * = 23,8 \text{ mL}/\text{min}$$

Con el fin de realizar mejor el aforo manualmente y diariamente, se aproximó el valor del caudal a 24 mL/min.

Se realizó un seguimiento diario a la operación del sistema del humedal, en el cual se tenía en cuenta revisar el caudal de entrada y salida con el fin de que no se aumentara o disminuyera, se analizaba el crecimiento de las plantas y cambios que tuviera durante su proceso.

Construcción: El sistema se construyó en vidrio de 4 mm de espesor y dimensiones de: alto: 50 cm, ancho: 50 cm y largo: 1.5 m.

Alistamiento de sustratos: La cascarilla del arroz se lavó y se desinfectó con agua caliente, la grava de 4-8 inch, únicamente se lavó.

Obtención de las plantas: El pasto vetiver se sembró con un tiempo de germinación de 21 días. El número de plantas sembradas fue de 48 las cuales se sembraron cada 15 cm.

En la Figura 3 se presentan las fases de la construcción del prototipo a escala laboratorio.



1. Estructura en vidrio y tuberías de entrada y salida de agua



2. Primera capa de sustrato (grava y cascarilla de arroz).



3. Prototipo con sustrato completo a una altura de 35 cm.



4. Siembra de plantas Vetiver



5. Vista del prototipo terminado con plantas, al fondo tanque negro de alimentación



6. Vista del prototipo terminado con plantas

Figura 3. Fotos del prototipo del humedal de flujo subsuperficial

Operación del sistema: Para asegurar el flujo continuo se instalaron dos tanques, un tanque principal de 500L que alimentaba el humedal y otro de 300L que alimentaba el tanque principal de manera automática a través del uso de una válvula

que accionaba la bomba de alimentación cuando el tanque principal disminuía de nivel. El sistema se operó 1 mes, el monitoreo y seguimiento del sistema se realizó a diario, en el cual se verificó el tiempo de retención hidráulico (TRH) de operación de 3.4 días,

para eso se midió el caudal de entrada y salida, nivel del agua y flujo del agua, de esta manera se verificaban las condiciones de operación correctas.

Monitoreo y seguimiento a la calidad del agua:

Para el monitoreo y seguimiento a la calidad del agua se realizaron muestreos *in situ* una vez por semana para un total de 4 muestreos y los análisis microbiológicos y otros fisicoquímicos se tomaron dos muestras cada 15 días y se analizaron en los laboratorios AQUALIM en la ciudad de Yopal.

Resultados

Monitoreo de calidad del agua en el sistema de tratamiento construido: Dentro del cronograma

del trabajo estaba realizar muestreos *in situ* del humedal con el fin de llevar un seguimiento del proceso y los parámetros que se pudieran medir, de estos muestreos se realizaron cuatro los cuales se muestran en las Tablas 2, 3, 4, 5, 6 y 7 donde se puede ver que cumplen con los criterios para reúso del agua en usos agrícolas.

En la Tabla 2 se pueden apreciar resultados obtenidos en el primer muestreo, esta indica que hubo incrementos en la dureza y alcalinidad, en cambio se pierde el oxígeno disuelto lo que significa que ha sido consumido para la degradación de la materia orgánica, se mantienen los cloruros, disminuye el pH a la salida y presencia ausencia de nitritos.

Tabla 2. Primer muestreo *in situ*

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida	Decreto 0631-2015	Res 1207/2014
Dureza	mg/L CaCO ₃	70,5	255	Análisis y Reporte	
Sulfitos	NaSO ₃	20	19		
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	165	225		
Cloruros	mg/l Cl	40	40	250,00	300,0
Oxígeno Disuelto	mg/L O ₂	1,5	No presenta Oxígeno		
pH	Unidades de pH	7,5	6,1	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
Nitritos	mg/L N- NO ₂	0	0	Análisis y Reporte	

En la Tabla 3 en el cual se presentan resultados del segundo muestreo se puede observar que los cloruros se mantienen iguales tanto como en entrada y salida, continua la ausencia del oxígeno disuelto, se

encuentra presencia de nitritos, la dureza presenta un significativo aumento a la salida, el pH presenta una disminución a la salida, los sulfitos se mantienen iguales, y la alcalinidad aumenta en la salida.

Tabla 3. Segundo muestreo – parámetros In-situ

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida	Decreto 0631-2015	Res 1207/2014
Dureza	mg/L CaCO ₃	120	270	Análisis y Reporte	
Sulfitos	NaSO ₃	20	20		
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	150	165		
Cloruros	mg/l Cl	50	50	250,00	300,0
Oxígeno Disuelto	mg/L O ₂	2	No presenta Oxigeno		
pH	Unidades de pH	8	7,3	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
Nitritos	mg/L N- NO ₂	0,25	1.0	Análisis y Reporte	

Para el tercer muestreo como lo muestra la tabla 4, los cloruros presentan una disminución en la salida, la dureza presenta un aumento bastante alto

con respecto a la entrada, los sulfitos aumentan a la salida, el pH disminuye a la salida y los nitritos disminuyeron a la salida.

Tabla 4. Tercer muestreo – parámetros In-situ

Parámetro	Unidad	Entrada	Salida	Decreto 0631-2015	Res 1207/2014
Dureza	mg/L CaCO ₃	105	225	Análisis y Reporte	
Sulfitos	NaSO ₃	17	20		
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	135	210		
Cloruros	mg/l Cl	80	65	250,00	300,0
Oxígeno Disuelto	mg/L O ₂	0,35	No presenta Oxigeno		
pH	Unidades de pH	7,7	6,5	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
Nitritos	mg/L N- NO ₂	0,25	0,05	Análisis y Reporte	

La Tabla 5 muestra los primeros análisis realizados en el laboratorio AQUALIM, estos permiten analizar el cumplimiento de los objetivos propuestos en cuanto a la calidad de agua, de acuerdo a los resultados que se presentan en la siguiente tabla se puede observar que el humedal cumple con el 73.25%

de remoción carga orgánica (DBO₅), su conductividad disminuye y se encuentra dentro de los parámetros permisibles según la resolución 1207/2014, también presenta una disminución de coliformes totales en un 99% y de E-Coli 99%.

Tabla 5 .Tercer muestreo - Análisis de laboratorio

Parámetro	Resultado		Unidades	% Remoción	Resolución 1207/2014
	Entrada	Salida			
Conductividad Eléctrica	528	383	µsiemens/cm	27,5 %	1.500,00
DBO₅	80,0	58,6	Mg O ₂ /L	26,75 %	
Coliformes Totales	207500	1483	NMP/100 mL	99,28 %	
Escherchia Coli	149700	933	NMP/100 mL	99,4 %	1,0*E(+5)

En el cuarto y último muestreo, cuyos resultados se presenta en la Tabla 6, se observa el resultado del análisis de cloro residual el cual obtuvo un valor de 0,6 mg/L, tomando en cuenta este resultado permite ver que cumple con lo estipulado en la resolución 1207/2014 para reúso del agua residual. De los

parámetros medidos in situ se evidencia el incremento de pH en la salida del humedal, los nitritos presentaron una disminución a la salida del humedal, la alcalinidad presenta un aumento en la salida, los sulfitos aumentaron a la salida, pero la dureza presenta un aumento a la salida.

Tabla 6. Cuarto muestreo – Parámetros in situ

Parámetro	Unidad	Salida Humedal	Salida - cloración	Decreto 0631-2015	Resolución 1207/2014
Dureza	mg/L CaCO ₃	120	135	Análisis y Reporte	
Sulfitos	NaSO ₃	18	20		
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	141	185		
pH	Unidades de pH	7,3	7,1	6,00 a 9, 00	6,00 a 9, 00
Nitritos	mg/L N- NO ₂	1,0	0,15	Análisis y Reporte	
Cloro residual	Mg Cl ₂ /L	< 0,1	0,6		Menor a 1,0

Los resultados de la Tabla 7 corresponden a análisis realizados en el laboratorio ambiental AQUALIM, es notable el cambio en los resultados obtenidos, ya que aumenta la conductividad eléctrica,

la DBO₅ en pequeña magnitud, pero si se presenta una remoción completa de coliformes fecales y *Escherichia coli*.

Tabla 7. Cuarto muestreo - Análisis de laboratorio

Parámetro	Resultado			Unidades	% Remoción	Resolución 1207/2014
	Entrada	Salida-Humedal	Salida - Cloro			
Conductividad Eléctrica	312	319	4800	µsiemens/cm	No hubo remoción	1.500,00
DBO ₅	4,2	9,9	<4,4	Mg O ₂ /L	No hubo remoción	
Coliformes Totales	287800	5012	<10	NMP/100 mL	98.25% entre entrada y salida, pero 100% después de la cloración.	
Escherichia Coli	1000	20	<10	NMP/100 mL	98% entre entrada y salida, pero 100% después de la cloración.	1,0*E(+5)

La diferencia de ese análisis realizado, con respecto al primero puede deberse a la eficiencia del tratamiento en la planta de tratamiento del INPEC, cuando se realizó la primera recolección del agua la planta presentaba una falla en los flotadores y en la última recolección según información del operario la planta estaba trabajando a un 100%, por tal motivo la DBO₅ estaba baja.

La Tabla 8 también contiene los resultados del análisis de laboratorio realizado después del sistema de cloración, se observa un incremento de la conductividad eléctrica, este incremento de conductividad se presentó ya que se agregó una cantidad de cloro superior, debido a que la demanda de cloro que se realizó fue de acuerdo al primer muestreo y análisis de laboratorio, el cual presentaba un valor de DBO₅ del 58,6 mg O₂/L, y para el segundo análisis el valor de DBO ya era mucho menor, además de esto se puede deber a presencia de electrolitos en el agua, tal vez dentro del agua se presente algún tipo de jabón, el aumento de la DBO₅ puede ser por la cascarilla de arroz como sustrato orgánico, sin embargo presenta una remoción de coliformes fecales y *Escherichia Coli*.

Análisis de resultados

Calidad del agua del humedal: Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y analizando la eficiencia del humedal a escala piloto, este sistema de tratamiento logró 99% de eficiencia en la remoción de *coliformes fecales* y *Escherichia Coli*, por lo cual estos organismos patógenos cumplen con los criterios de calidad que establece la norma para reuso de aguas residuales, por el contrario, durante el proceso se perdió el oxígeno disuelto esto se debió a la degradación de la materia orgánica, por ende esto desarrolla un medio anaerobio con microorganismos anaerobios y facultativos. Otros parámetros como la DBO₅ y la alcalinidad aumentaron durante una fase del tratamiento, una de las posibles causas pudo ser por la cascarilla de arroz como sustrato orgánico ya que este aporta materia orgánica, el comportamiento del pH se mantuvo constante tanto a la entrada como a la salida del humedal, la conductividad presentó una disminución de casi el 28% a la salida del humedal.

Calidad del agua con cloración: La calidad del agua residual después del sistema de cloración tuvo cambios significativos en *coliformes fecales* y *Escherichia Coli* ya que se removieron en un 100%, por el contrario se presentó un incremento de la conductividad eléctrica, este incremento de conductividad se presentó ya que se agregó una cantidad de cloro superior, debido a que la demanda de cloro que se realizó fue de acuerdo al primer muestreo y a los resultados de los análisis de laboratorio en que la DBO_5 fue de 58mg/L, mientras que el segundo fue 4mg/L, este tipo de cambios se presentaron por mejoramiento en la eficiencia del sistema de tratamiento que estaba realizando la PTAR del INPEC.

Coefficiente de remoción: Los procesos de remoción de materia orgánica en humedales de flujo subsuperficial son muy efectivos, siempre y cuando se mantengan condiciones óptimas como el tiempo de retención hidráulica, carga orgánica de entrada y profundidad del humedal, este factor “K” es usado para modelar el comportamiento en la remoción de materia orgánica. “K” es la constante de cinética de reacción de primer orden en función de la temperatura, d^{-1} , esta se modifica por la temperatura según la ecuación de Arrhenius. (Otálora, 2011). La remoción de DBO_5 teniendo en cuenta la cinética de velocidad de reacción “K” fue de $0.091d^{-1}$ lo que indica que, aunque el humedal funcionó muy bien removiendo algunos contaminantes, la constante de remoción de DBO_5 es baja en comparación a otros sistemas similares donde esta constante oscila entre 1.1 y $1.35d^{-1}$ (Otálora, 2011), lo cual pudo deberse a una baja carga orgánica en el sistema, también al corto tiempo de operación del sistema y a la variación en la calidad del agua que se trató.

Conclusiones

Teniendo en cuenta los análisis y parámetros del agua tratada por el humedal, se observa que ésta puede ser reutilizada en el riego de pastos o en cultivos agrícolas y que cumple los requisitos ambientales.

De acuerdo con la eficiencia de remoción de la DBO_5 para todo el sistema de un 73,25% se evidencia el funcionamiento de los humedales artificiales en la remoción de materia orgánica.

El uso de la cascarilla de arroz como sustrato orgánico en el humedal, fue de gran importancia ya que, ésta presenta óxidos metálicos que hacen que se aumente la alcalinidad y disminuye la acidez del agua, por ende, se disminuyen las grasas dentro del tratamiento.

Este tipo de tecnologías demuestran que una vez instalados y operados adecuadamente los humedales artificiales, tienen un funcionamiento adecuado para la remoción de contaminantes en el agua.

En cuanto a las plantas sembradas en el humedal, se puede decir que se adaptaron al sustrato usado, lo que demuestra la viabilidad de usar la cascarilla de arroz como sustrato en humedales artificiales.

Según los resultados obtenidos, se evidencia que el humedal puede alcanzar mayores porcentajes de remoción de material orgánico y organismos patógenos en niveles óptimos de carga orgánica y flujo continuo de agua, esto mejoraría la calidad del agua para reuso agrícola.

Literatura citada

1. Acuameunier, S. (2016). Manual de operación y mantenimiento planta de tratamiento de agua residual E.P.C. Yopal, Casanare.
2. Analquim, A. F. (2015). Informe de Monitoreo y Caracterización de Agua Residual Domestica. Bogotá D.C.
3. Borrero, J. A. (1999). Depuración de las Aguas Residuales Municipales Con Humedales Artificiales. Recuperado de <http://www.ecohabitar.org/wp-content/uploads/2015/09/humedales-artificiales.pdf>
4. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Recuperado de: http://www.infoandina.org/sites/default/files/publication/files/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf

5. Espinosa, C. E. (2014). Factibilidad del diseño de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales municipales de 30.000 habitantes. Escuela Colombiana de Ingeniería - Julio Garavito Recuperado de: <http://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/114/1/FACTIBILIDAD%20DEL%20DISENO%20DE%20UN%20HUMEDAL%20DE%20FLUJO%20SUBSUPERFICIAL%20PARA%2030000%20HABITANTES.pdf>
6. Manga, J., Logreira, N. & Serralt, J. (2001). Reuso de las aguas residuales. Un recurso hídrico. Ingeniería & Desarrollo. Universidad del Norte. Recuperado de: http://ciruelo.uninorte.edu.co/pdf/ingenieria_desarrollo/9/reuso_de_aguas_residuales.pdf
7. Otálora, A. P. (2011). Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de alta tasa en la locación petrolera de caño Gandúl. Universidad Nacional de Colombia Recuperado de: <file:///C:/Users/Katy/Downloads/292544.2011.pdf>
8. Pineda, C. (2014). Reuso de las Aguas Residuales: Un Beneficio Económico, Social y Ambiental. B. Radio, Entrevistador.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 19 de 2016

Aceptado: octubre 10 de 2016

Biodegradación estimulada de los suelos contaminados con pesticidas organoclorados

Stimulated degradation of soils contaminated with organochlorine pesticides

Biodegradação do solo estimulou contaminado com pesticidas organoclorados

María Kopytko¹, Sandra Natalia Correa-Torres² & Martha Jhoana Estévez- Gómez³

¹Ingeniera Química, Especialista en Tratamiento de Aguas, Magister en Química, Doctora en Biotecnología. ²Química, Magister en Química, Doctora en Química Aplicada. ³

^{1,2,3}Facultad de Ingeniería Ambiental, Universidad Pontificia Bolivariana. Piedecuesta, Km 7.0. Off. K-107. Bucaramanga, Colombia.

¹maria.kopytko@upb.edu.co; ²sandra.correa@upb.edu.co; ³martha.estevez@upb.edu.co

Resumen

DDT al igual que otros pesticidas organoclorados han sido utilizados extensivamente en Colombia entre los años 1970 y 1980 en cultivos de algodón. DDT es resistente a la degradación y fuertemente relacionado con numerosos problemas de salud y actualmente está prohibido su uso. El propósito de esta investigación fue evaluar la biodegradación de DDT y de los productos DDD y DDE, presentes en el suelo contaminado durante 16 años en el municipio Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. Se llevaron a cabo bioestimulación, bioaumentación y un tratamiento de control bajo condiciones anaerobias y aerobias secuenciales. El proceso de biodegradación anaerobia duró 8 semanas y consecutivamente se realizó el proceso aerobio por 20 semanas. En el proceso de bioestimulación se adicionó fósforo para optimizar la proporción C:N:P en el suelo tratado. De las bacterias nativas se aislaron las cepas bacterianas con la capacidad biodegradadora del DDT y fueron identificadas mediante las características morfológicas y ampliación por PCR de la región de

1465 pb del gen ribosomal 16S y secuenciación. De estas se seleccionaron cuatro cepas bacterianas para el proceso de bioaumentación: *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aeromona caviae*, y *Bacillus sp*, las cuales fueron bioaumentadas en el laboratorio e inoculadas en el suelo tratado en concentración de 108 UFC/ml. La concentración de DDT, DDD y DDE se determinó por medio de cromatografía de gases. Los mejores resultados se obtuvieron durante la fase anaerobia logrando una remoción de DDT, DDD y DDE en un 56,2%, 17,1% y 44,5% respectivamente.

Palabras clave: bioaumentación, bioestimulación, DDT

Abstract

DDT and other organochlorine pesticides have been used extensively in Colombia between the years 1970 and 1980 in cotton fields. DDT is resistant to degradation and strongly linked with numerous

health problems and its use is currently forbidden. The purpose of this research was to evaluate the biodegradation of DDT, DDD and DDE, products present in the soil contaminated during 16 years in **you municipality** Agustín Codazzi, Cesar, Colombia. **Bio-stimulation**, bioaumentación, and a control under anaerobic and aerobic conditions sequential treatment were carried out. The process of anaerobic biodegradation lasted 8 weeks and was consecutively held the aerobic process for 20 weeks. In the process of biostimulation added phosphorus to optimize **the ratio n: P** in the treated soil. **Native** bacteria were isolated bacterial strains with the ability biodegradadora of DDT and were identified using morphological characteristics and expansion by PCR of the region of 1465 pb of the gene 16S ribosomal and sequencing. Of these we selected four bacterial strains for the process of bioaumentación: **Burkholderia cepacia**, **Pseudomonas fluorescens**, **Aeromona caviae**, and **Bacillus SP.**, which were **bioaumentadas** in laboratory and inoculated into the soil treated in concentration of 108 cfu/ml. The concentration of DDT, DDD and DDE was determined by gas chromatography. The best results were obtained during anaerobic achieving a removal of DDT, DDD and DDE 56.2% 17.1% and 44.5% respectively.

Key-words: bioaugmentation, biostimulation, DDT

Resumo

DDT igual que outros pesticidas organoclorados têm sido utilizados extensamente na Colômbia

entre 1970 e 1980 nas culturas de algodão. O DDT é resistente à degradação e fortemente relacionado com numerosos problemas de saúde e atualmente está proibido sua utilização. O proposito desta pesquisa foi avaliar a biodegradação do DDT e dos produtos DDD e DDE presentes no solo contaminado durante 16 anos na localidade Agustín Codazzi, Cesar, Colômbia. Foi feita bioestimulação, bioaumentação e um tratamento de controle baixo condições anaeróbias e aeróbias sequenciais. O processo de biodegradação anaeróbia durou 8 semanas e consecutivamente foi realizado o processo aeróbio por 20 semanas. No processo de bioestimulação foi adicionado fósforo para otimizar a proporção C:N:P no solo tratado. Das bactérias nativas, isolaram-se as cepas bacterianas com a capacidade biodegradadora do DDT e foram identificadas por morfologia e ampliação por PCR do gene ribossomal 16S e sequenciamento. Selecionaram-se quatro cepas bacterianas para o processo de bioaumentação: *Burkholderia cepacia*, *Pseudomonas fluorescens*, *Aeromona caviae*, e *Bacillus sp*, bioaumentadas no laboratório e inoculadas no solo tratado, na concentração de 108 UFC/ml. A concentração de DDT, DDD e DDE determinou-se por cromatografia de gases. Os melhores resultados foram obtidos durante a fase anaeróbia conseguindo a remoção de DDT, DDD e DDE em 56,2%, 17,1% e 44,5% respectivamente.

Palavras-chave: bioaumentação, bioestimulação, DDT.

Introducción

El municipio de Agustín Codazzi, Cesar, Colombia, se convirtió en el primer productor nacional de algodón al cultivar 60.000 ha en año 1975 (Soler & Prieto, 1982). El proceso empleado en este cultivo correspondía a una agricultura extensiva, determinada por la utilización indiscriminada de insumos químicos para el desarrollo de los monocultivos. Entre estos insumos se aplicaba gran cantidad de compuestos organoclorados como pesticidas. En los años noventa se terminó la bonanza algodонера

y quedaron atrás miles de hectáreas de suelo infértil y grandes remanentes de agroquímicos, entre estos compuestos organoclorados. La forma más fácil de deshacerse de estas sustancias fue a través de un simple enterramiento, sin control alguno, en las zonas aledañas de antiguo cultivo (Barrios, 2013). Corporación Autónoma Regional del Cesar (CORPOCESAR) ha realizado en año 1997 estudios que revelaron la presencia de gran cantidad de pesticidas en el suelo y a los que se les atribuye hoy,

la responsabilidad de los casos de cáncer y otras enfermedades presentadas en la región (CORPOCESAR & Geosísmica y Ambiente, 1997).

Los pesticidas organoclorados son compuestos químicos orgánicos de origen sintético, donde algunos o la totalidad de sus átomos de hidrógeno se substituyen por cloro. Diversas investigaciones destacan la gran persistencia de los pesticidas organoclorados en el suelo, debido a su estabilidad estructural y lenta degradación (Xuejun *et al.*, 2006). Los compuestos orgánicos generalmente actúan como donadores de electrones; sin embargo, debido a la electronegatividad de los sustituyentes halogenados, los compuestos polihalogenados pueden actuar como aceptores de electrones en ambientes reductores. No obstante, una molécula con un pequeño número de halógenos podrá ser biodegradada por procesos oxidativos y asumir el rol de donador de electrones en sistemas aerobios (Arbeli, 2009). Lo anterior indica, mejores resultados en la biodegradación de compuestos organoclorados, bajo sistemas de tratamiento de deshalogenación reductiva en condiciones anaerobias, seguida de aireación para generar condiciones aerobias (Eweis *et al.*, 1999; Baczynski *et al.*, 2010; Betancur, 2013). Generalmente los pesticidas organoclorados inhiben el crecimiento de los microorganismos, haciendo difícil su biodegradación. Sin embargo largos tiempos de permanencia de estos componentes en el suelo desarrolla la adaptación de los microorganismos a este tipo de sustancia y la posibilidad de su uso como la fuente de carbono primario. Esto conlleva a un crecimiento microbiano y el proceso de biodegradación consecuente (Castro, 2008; Fang *et al.*, 2010; Tomasini, 2011; Xiaomin *et al.*, 2015). En la presente investigación se comparó la biodegradación de pesticidas organoclorados mediante la bioaumentación y bioestimulación, en un suelo contaminado procedente del municipio de Agustín Codazzi, Cesar, utilizando el consorcio bacteriano nativo desarrollado en este suelo. Los dos métodos utilizados a escala de laboratorio recombinan las condiciones anaerobias –reductoras- y aerobias –oxidativas-, secuenciales para lograr mayor efectividad de la eliminación de estos contaminantes, acumulados en el suelo por más de 16 años.

Materiales y métodos

Muestreo de suelo

El muestreo de suelo se realizó en las antiguas instalaciones del Instituto Técnico Agropecuario Antonio Galo Lafaurie (Figura 1), zona donde, según informes de la Corporación Autónoma Regional del Cesar (Corpocesar), registró la existencia de una gran concentración de pesticidas. Las muestras se tomaron según la metodología expedida por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (CORPOICA, 2014). Inicialmente se delimitó la zona, separando dos cuadrantes de 50x50 m para aplicar el patrón de zig-zag cada 12 m, marcando un total de 80 puntos. En cada punto se tomaron aproximadamente 3 kg de la muestra a una profundidad de 40 cm. Finalmente se generó la muestra compuesta, cual fue homogenizada a través de operaciones como el secado, la trituración y tamizado.



Figura 1. Zona de muestreo de suelo contaminado

Fuente: Alcaldía de Agustín Codazzi.
www.agustincodazzi-cesar.gov.co

Determinación de las condiciones iniciales del suelo procedente de la zona de interés.

Se determinaron propiedades físico-químicas de la muestra de suelo proveniente de la zona de interés aplicando métodos estandarizados y/o propuestos por la normativa de la Sociedad de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Sociedad Americana

para Pruebas y Materiales (ASTM) y las de Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC) entre otras.

Identificación de las bacterias presentes en el suelo y las bacterias utilizadas en bioaumentación.

Las bacterias nativas presentes en el suelo contaminado de interés se aislaron e identificaron mediante la descripción macro y microscópicas de las cepas aisladas y la aplicación del índice Analítico de Perfil para Bacterias No Entéricas (API 20 NE). Las cepas utilizadas para el proceso de bioaumentación se aislaron y se purificó su DNA luego se realizó la amplificación por PCR de la región 1465 del gen ribosomal 16S. Tras la purificación de los fragmentos de PCR y secuenciación con los iniciadores 27F, 518F, 800R y 1492R del gen ribosomal 16S se realizó el ensamblaje y obtención de la secuencia problema. Análisis taxonómico de la secuencia problema se realizó aplicando la base de datos de National Center for Biotechnology Information (NCBI), Greengenes Lawrence Berkeley National Laboratory y Ribosomal Database Project (RDP). Finalmente se realizó el alineamiento y generación de un árbol de distancias utilizando las secuencias con mayor similitud a la secuencia problema.

Análisis de los compuestos organoclorados

Los compuestos organoclorados se identificaron aplicando técnica de dispersión de la matriz en fase sólida (MSPD), empleando como material de referencia la mezcla certificada de pesticidas organoclorados Part N° OCP508-1JM (*ChemService, West Chester, PA 19381 PO BOX 599, EE.UU.*). El análisis cromatográfico se realizó en un cromatógrafo de gases AT 6890 Series Plus (*Agilent Technologies, Palo Alto, California, EE.UU.*), acoplado a un detector selectivo de masas (*Agilent Technologies, MSD 5973*), operado en modo SIM [monitoreo de iones seleccionados]. La columna empleada en el análisis fue DB-5MS [5%-fenil-poli (metilsiloxano), 60 m x 0.25 mm x 0.25 µm]. La inyección se realizó en modo *splitless* con volumen de dos µL.

Dimensionamiento del sistema experimental

Para el desarrollo de proyecto se establecieron tres condiciones experimentales: bioestimulación,

bioaumentación y control de las condiciones, cada uno por triplicado, en bioreactores de plástico con 8.5 kg de suelo, tomado previamente en municipio Agustín Codazzi. Al inicio del proceso de bioremediación se llevaron los reactores al 60% de su capacidad de campo, mediante la adición de un volumen de agua que se determinó a partir de los análisis iniciales para mantener el suelo en rango de 50 a 70% de la capacidad de campo y de esta manera garantizar el buen desarrollo de las bacterias (Mirsal, 2008). El agua fue adicionada a los bioreactores mediante un sistema de microaspersión por gravedad.

En el proceso de *bioestimulación* se ajustó nivel de fósforo en el suelo de interés y se aplicó condiciones anaerobias durante 8 semanas y aerobias consecutivas por 20 semanas adicionales. Para conocer el requerimiento de fósforo, se determinó la relación C: N: P, a partir de la caracterización inicial del suelo y se consideró las recomendaciones de la literatura 100:10:1 (Fuentes, 1999; Blaine, 1993). En la técnica de *bioaumentación*, adicional a la nivelación de fósforo se agregó caldo bacteriano de 4 bacterias aisladas del suelo de interés, teniendo en cuenta su potencial de biodegradación de los compuestos organoclorados, reportado por la literatura (Betancur, 2013; Nezha, 2013; Pensri & Alissara, 2011; Madigan *et al.*, 2009; Castro, 2008). Con el fin de comprobar la compatibilidad entre las cepas seleccionadas, se realizó prueba de crecimiento o inhibición en medio de Agar Tripticasa de Soya- marca Merck, aplicando diferentes combinaciones de estas bacterias. Iniciando el proceso de bioaumentación se agregó las cepas bacterianas seleccionadas al caldo nutritivo, en cantidad de su crecimiento en una caja Petri. Finalmente se obtuvo una concentración bacteriana de 10⁸ UFC/ml (determinada por recuento en placa) recomendada por la literatura (Vásquez *et al.*, 2010; Ríos, 2005). Este caldo se adicionaba al suelo, sometido al proceso de bioaumentación en un volumen de 300 ml con frecuencia de cada mes. El resto de las condiciones se conservaron de igual manera que en los ensayos de bioestimulación. Adicionalmente se tuvo en cuenta *control de las condiciones* que fue un bioreactor con suelo de interés, sometido únicamente al riego y las condiciones anaerobias y aerobias consecutivas, analizado durante el mismo tiempo que los otros experimentos.

Condiciones anaerobias. Para mantener las condiciones anaerobias, se cubrió la superficie de suelo con parafina y se colocaron las tapas en cada uno de los reactores. Esta fase tuvo una duración de 8 semanas, donde el tiempo estipulado se tomó con base a resultados reportados en la literatura (Corona-Cruz, 1999).

Condiciones aerobias. Una vez terminada la fase anaerobia, se cambiaron las condiciones en los mismos sistemas de biodegradación para proporcionar un ambiente aerobio, durante un periodo de 20 semanas. Las condiciones aerobias se garantizaron por medio de la introducción de aire al suelo. El aire fue inyectado al suelo mediante mangueras adaptadas

a un tubo de PVC de ½" perforado "tipo flauta", ubicado de forma horizontal en el fondo del recipiente. A cada uno de los reactores se le adaptaron tres (3) tubos en su interior, produciendo en total, un caudal de aire de 330 L/min.

Resultados y discusión

Determinación de las condiciones iniciales del suelo: El suelo utilizado para este estudio fue de textura franca, (promedio \pm desviación estándar; 45,76% \pm 3,05% arena, 41,28% \pm 3,28%, limo y 12,96% \pm 1,65% arcilla.) En la Tabla 1 se resumen propiedades fisicoquímicas.

Tabla 1. Resumen de las propiedades fisicoquímicas de suelo en estudio.

Parámetro	Valor
Granulometría	
pH en H ₂ O	6.68 \pm 0,03
Δ pH	-0,42
Conductividad eléctrica	204,57 \pm 6,6 μ s/cm
Cloruros	4008,2 mg/kg
Densidad Aparente	1,60 \pm 0,02 g/cm ³
Humedad volumétrica	2,4% \pm 0,21
Capacidad de campo	17.6 \pm 0,52 meq-g/100 g suelo
Materia orgánica	1.08%
Capacidad de intercambio catiónico	1.604 g/cm ³ \pm 0,02
Nitrógeno	1025.55 mg/Kg de suelo
Fósforo	1.33 mg/Kg de suelo

Fuente: Kopytko *et al.*, 2016.

El suelo de interés fue clasificado como bien graduado, con el pH cercano a la neutralidad y alta conductividad relacionada con el alto contenido de los cloruros. El suelo presentó una escasez de humedad y compactación ligera así como muy bajo contenido de materia orgánica y un desbalance entre el contenido de nitrógeno y fósforo. La cromatografía realizada en la muestra de suelo de interés reveló la

presencia de cinco pesticidas organoclorados: 4.4'-DDT (9,1 mg/kg), 4.4'-DDD (2,4 mg/kg), 4.4'-DDE (1,1 mg/kg), Endrin (1,9 mg/Kg) y *trans*-Clordano (0,1 mg/kg). Relacionando las altas concentraciones de cloruros presentes en el suelo estudiado y registro de elevadas concentraciones de los productos de degradación del 4.4'- DDT (como lo son: 4.4'-DDD y 4.4'-DDE), se consideró que hay un progreso de

biodegradación del 4.4'-DDT, realizado por las bacterias nativas adaptadas a las condiciones en el lugar. De igual manera la gran cantidad de DDT y Endrín hallada en la muestra de suelo, donde se enterraron estos pesticidas hace más de 16 años, señala la necesidad de buscar un método eficiente, cual puede acelerar el proceso natural de su degradación. En análisis microbiológico inicial de bacterias nativas, presentes en el suelo contaminado, se identificaron 37 cepas de los géneros: *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Burkholderia*, *Bacillus* y *Enterobacter*. Estos géneros bacterianos reporta la literatura como microorganismos con alto potencial para degradar compuestos organoclorados (Xiaomin *et al.*, 2015; Betancur, 2013; Nezha, 2013; Tomasini, 2011).

Identificación molecular de las cepas bacterianas aisladas del suelo contaminado, para el proceso de bioaumentación. Para el proceso de bioaumentación se seleccionaron cuatro cepas bacterianas identificadas inicialmente por observación microscópica, macroscópica seguida por la aplicación del índice Analítico de Perfil para Bacterias No Entéricas (API 20 NE). El interés en uso de estas cepas fue la abundancia de estos microorganismos en el suelo contaminado así como su relación con la biodegradación de compuestos organoclorados, reportada en literatura (Betancur, 2013; Nezha, 2013; Pensri & Alissara, 2011; Madigan *et al.*, 2009; Castro, 2008). La identificación molecular de estas cepas bacterianas permitió determinar géneros y especies. En la Figura 2 se reportan resultados de la comparación de la secuencia problema de la cepa 1F contra la base de datos RDP indicando la similitud en la mayoría de su longitud con cepas identificadas como *Pseudomonas*.

Classifier :: Hierarchy View

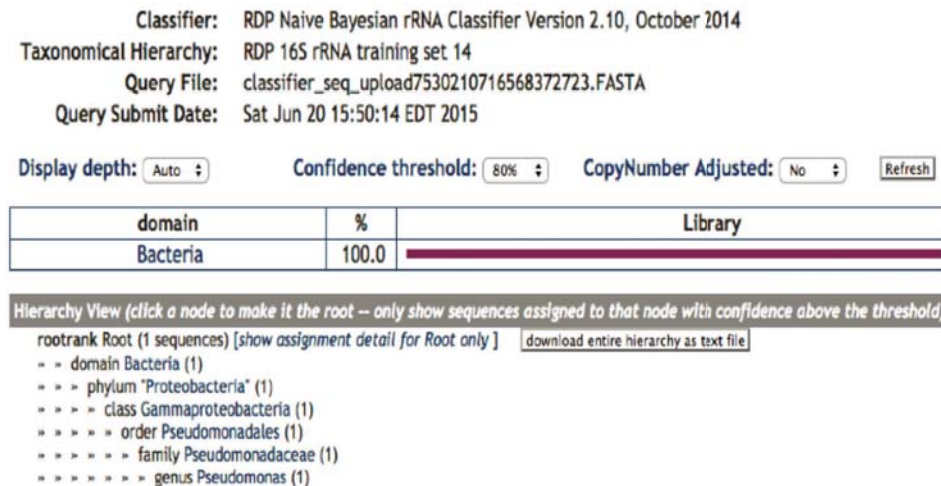


Figura 2. Resultado de la comparación de la secuencia problema contra la base de datos RDP.

Utilizando la base de datos de secuencias tipo, del algoritmo Seqmatch-RDP contra aislamientos cultivados indicó que la secuencia problema ensamblada es muy similar en la mayoría de su longitud con cepas identificadas como *Pseudomonas aeruginosa*. (Figura 3) La búsqueda en la base de datos Greengenes indicó que la secuencia problema es muy similar a secuencias de *Pseudomonas sp.* y *Pseudomonas*

aeruginosa. Finalmente los resultados del análisis taxonómico de la secuencia problema ensamblada de 1467 pb contra la base de datos curada del NCBI, Genomic Reference Sequences, RefSeq, indicó un 99,9% de identidad en el 100% de su longitud, con secuencias del gen ribosomal 16s pertenecientes a *Pseudomonas aeruginosa*.

SeqMatch :: Detail Hierarchy

[Save selection and return to summary](#)

Query Sequence: seqmatch_seq, 1397 unique oligos

Match hit format:

short ID, orientation, similarity score, S_ab score, unique common oligomers and sequence full name. More help is available.

Lineage:

```

+ rootrank Root (0/5/10132) (selected/match/total RDP sequences)
+ domain Bacteria (0/5/9729)
+ phylum "Proteobacteria" (0/5/3614)
+ class Gammaproteobacteria (0/5/1647)
+ order Pseudomonadales (0/5/231)
+ family Pseudomonadaceae (0/5/153)
+ genus Pseudomonas (0/5/132)
   S000010427 - not_calculated 0.914 1460 Pseudomonas aeruginosa (T); DSM50071; X06684
   S000428789 - not_calculated 0.898 1368 Pseudomonas stutzeri (T); ATCC 17588; AF094748
   S000514601 - not_calculated 0.933 1444 Pseudomonas otitidis (T); MCC10330; AY953147
   S000824948 - not_calculated 0.888 1344 Pseudomonas panipatensis (T); Esp-1; EF424401
   S003288366 - not_calculated 0.996 1456 Pseudomonas aeruginosa (T); type strain: DSM 50071; HE978271

```

Figura 3. Resultado de la comparación de la secuencia problema contra SeqMatch-RDP

El árbol de distancias (Figura 4) construido a partir de las 20 secuencias de microorganismos cultivables más cercanas, disponibles en la base de datos RDP, muestra que la secuencia problema se agrupa en el mismo clado con secuencias de

Pseudomonas aeruginosa, con un soporte de ramas del 95%. Con base en el anterior análisis se afirmó que la secuencia analizada pertenece a la especie *Pseudomonas aeruginosa*.

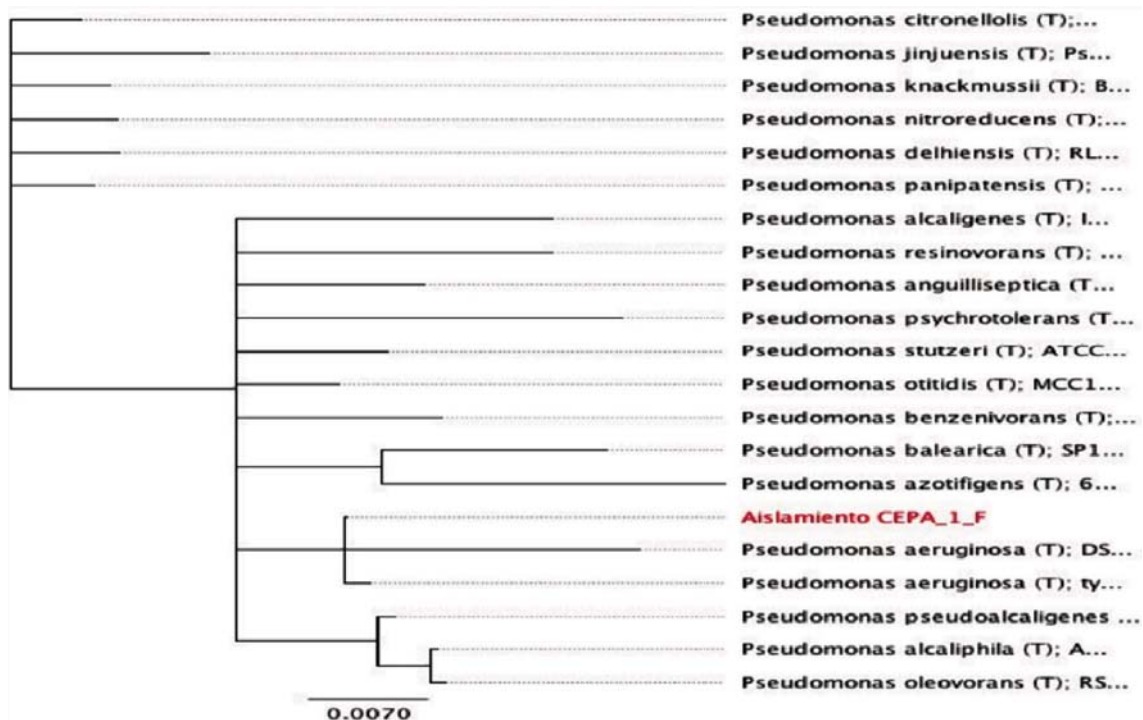


Figura 4. Árbol filogenético de *Pseudomonas aeruginosa*, correspondiente a la cepa 1F

Las otras cepas aisladas del suelo contaminado, se analizaron con la misma metodología. En la Tabla 2 se resumen resultados de la identificación de las cepas de interés aisladas para el proceso de bioaumentación.

Tabla 2. Resumen de la identificación molecular de las cepas aisladas para el proceso de bioaumentación.

Muestra	Longitud de la secuencia ensamblada	Resultados RefSeq Genomic- NCBI			Resultados RDP	Resultados Greengenes	Resultado final	
		Microorganismo	% de identidad	% de cobertura			Género	Especie
CEPA 1	1415 pb	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	99,9	100	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas sp.</i>	Pseudomonas	aeruginosa
CEPA 2	1443 pb	<i>Pseudomonas sp.</i>	99,8	100	<i>Pseudomonas sp</i> <i>Pseudomonas taiwanensis</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Pseudomonas monteiii</i>	<i>Pseudomonas sp</i> <i>Pseudomonas taiwanensis</i> <i>Pseudomonas putida</i> <i>Pseudomonas monteiii</i> <i>Pseudomonas plecoglossicida</i>	Pseudomonas	-
CEPA 3	1390 pb	<i>Pseudomonas putida</i>	99,8	100	<i>Pseudomonas taiwanensis</i>	<i>Pseudomonas sp.</i> <i>Pseudomonas putida</i>	Pseudomonas	putida
CEPA 4	1441 pb	<i>Bacillus cereus</i> <i>Bacillus anthracis</i> <i>Bacillus thuringiensis</i> <i>Bacillus weihenstephanensis</i>	99,7	100	<i>Bacillus cereus</i>	<i>Bacillus cereus</i> <i>Bacillus thuringiensis</i>	Bacillus	-

Tratamiento de la muestra de suelo en condiciones anaerobias y aerobias consecutivas.

En la Tabla 3 se relacionan los porcentajes de remoción del 4,4'-DDTy de sus productos de degradación

(4,4'-DDE y 4,4'-DDD) en los procesos de bioaumentación, bioestimulación y en el control al final de la fase anaerobia (8 semanas).

Tabla 3. Concentración removida del 4,4'- DDT y sus metabolitos después del tratamiento anaerobio

Tratamiento	Porcentaje de remoción [%]		
	4,4'-DDT	4,4'-DDE	4,4'-DDD
Bioaumentación	56,48	44,54	17,08
Bioestimulación	9,45	ND	ND
Control*	27,25	ND	ND

*Aplicación de riego y un sistema anaerobio y aerobio consecutivo
ND no detectable

Durante la etapa anaerobia ocurre la sustitución de cloro por el átomo de hidrógeno en la molécula de organoclorado y se considera que las condiciones anaerobias generan mejores resultados que los ambientes aerobias, en el proceso de biodegradación. (Aislabie *et al.*, 1997). Después de 8 semanas de tratamiento anaerobio, se destacó el proceso de bioaumentación, en el cual se presentó 56,48% del 4,4'- DDT removido. De la misma manera los productos formados 4,4'- DDE y 4,4'-DDD fueron utilizados por las bacterias, durante el proceso de biodegradación, como la fuente primaria de carbono, logrando al final un porcentaje de remoción de 44,54 y 17,08% respectivamente. Teniendo en cuenta que en el proceso de bioaumentación se adicionaba al suelo un caldo bacteriano con los cuatro microorganismos aislados de las bacterias nativas, se aumentó el potencial de biodegradación de los pesticidas organoclorados en este proceso, lo cual explica alto porcentaje de su degradación en esta fase. Considerando que la bioestimulación es la adición de diferentes tipos de nutrientes cuya falta podría limitar el crecimiento de microorganismos nativos en este estudio se adicionó el fósforo al suelo. (Ortiz, 2013; Piehler *et al.*, 1999; Rhykerd *et al.*, 1999). Esto fue debido a que el suelo proveniente de Agustín Codazzi, contenía alta concentración de carbono y nitrógeno pero bajo nivel de fósforo, necesario para que las células microbianas sinteticen ácidos nucleicos y fosfolípidos. Por lo anterior en el proceso de bioestimulación se adicionó al suelo el elemento faltante,

para generar relación C:N:P recomendada por la literatura. (Fuentes, 1999; Blaine, 1993).

El rendimiento de remoción del DDT y de los productos de su degradación en el tratamiento de la bioestimulación bajo las condiciones anaerobias no fue satisfactorio. Identificando las bacterianas degradadoras de compuestos organoclorados desarrolladas en los reactores donde se aplicó la bioestimulación se encontró *Burcolderia cepasia*, *Pseudomona putida*, *Enterobacteria* y *Bascillus sp.* Estas cepas podrían generar la competencia entre ellos y otras bacterias desarrolladas después de nivelar las condiciones nutricionales en el suelo. En el bioreactor que representó el control de proceso, solo se agregaba el agua al suelo y fue sometido a las condiciones anaerobias por 8 semanas. En este caso se observó un porcentaje de remoción del 4,4'-DDT correspondiente a 27,25%, lo cual es superior que en un proceso de bioestimulación. En este suelo, solo se encontró *Enterobacteria* adaptada a las condiciones de alta toxicidad de los pesticidas organoclorados, cual utilizó 4,4'-DDT como la fuente primaria de carbono sin competir con otras bacterias. El tratamiento aerobio realizado durante de 20 semanas permitió la degradación adicional del 4,4'-DDT. En la Tabla 4 se resumen porcentajes de remoción de los pesticidas organoclorados del suelo, después de 20 semanas de tratamiento aerobio consecutivo.

Tratamiento	Porcentaje de remoción [%]		
	4,4'-DDT	4,4'-DDE	4,4'-DDD
Bioaumentación	46.5%	17.8%	8.5%
Bioestimulación	39.11%	4.3%	ND
Control*	25.28%	ND	ND

Tabla 4. Concentración removida del 4,4'- DDT y sus metabolitos después del tratamiento aerobio consecutivo.

*Aplicación de riego y un sistema anaerobio y aerobio consecutivo
ND no detectable

El porcentaje de remoción reportado en la Tabla 4 presenta el resultado únicamente de la fase aerobia. Hay que tener en cuenta que al aplicar en los bioreactores aire con el caudal de 330L/min, se generó la expansión de los poros de suelo, liberando los compuestos organoclorados, fenómeno reportado por otros autores (Betancourt, 2013). Las concentraciones de estos compuestos al iniciar el proceso aerobio, superaron la cantidad inicial en la fase anaerobia, lo cual dejó ver la fuerte vinculación y estabilización de estos pesticidas en el suelo, creando su permanencia durante muchos años. (Agbeve *et al.*, 2014).

Finalizando el proceso aerobio se detectó la remoción de 46,5% del 4,4'-DDT en el proceso de bioaumentación seguido por la bioestimulación con 39.11%. Adicionalmente en esta etapa, la bioestimulación presentó un aumento mayor al 10 % con respecto al proceso de control. Relacionando este

resultado con análisis microbiológico en el suelo se encontró que después del proceso aerobio los suelos tratados por bioestimulación registraron presencia de *Bacillus sp* y *Pseudomona putida*, pero en los reactores de control solo se detectaron *Bacillus sp* relacionados con la degradación de los compuestos organoclorados. Altos porcentajes de remoción de 4,4'- DDT y de sus productos de degradación en condiciones aerobias indican que este tratamiento aporta una remoción adicional de organoclorados del suelo.

Análisis por cromatografía de gases acopada a espectrometría de masas de la muestra tratada en condiciones aerobias reveló la presencia de otros compuestos clorados como: β -Lindano, Dieldrín, Endrin cetona. En la Figura 5 se puede observar los cromatogramas correspondientes a los tratamientos Bioaumentación, Bioestimulación y control en la muestra de suelo.

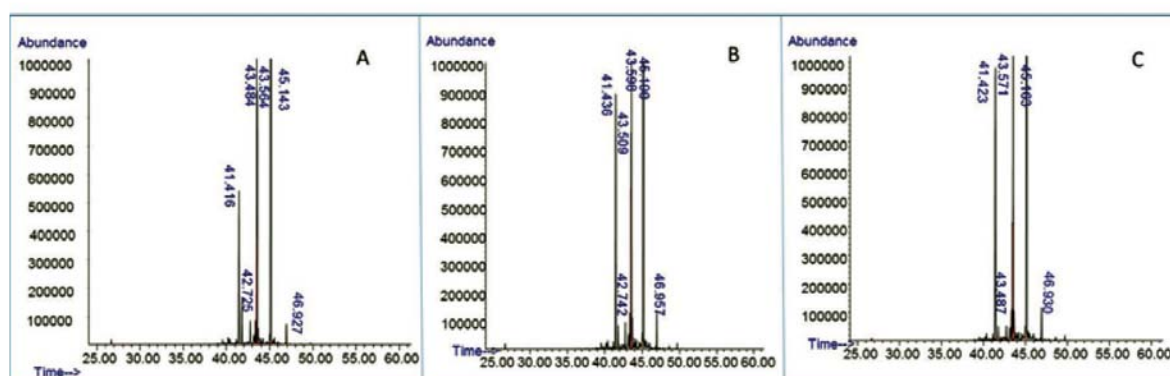


Figura 5. Cromatogramas de los tratamientos aplicados a muestras de suelo después de 12 semanas en condiciones aerobias A) Bioaumentación, B) Bioestimulación C) Control

En los cromatogramas A, B y C se encuentran presentes los compuestos 4,4-DDE, 4,4-DDD y 4,4-DDT correspondientes a tiempos de retención, 42.725, 43.564 y 45.143 respectivamente.

Conclusiones

El análisis fisicoquímico inicial del suelo contaminado con pesticidas organoclorados permitió clasificar el suelo como franco, con predominancia de limos y arenas. Este suelo presenta bajo contenido de materia orgánica (1,83%) y de partículas coloidales que desfavorece la capacidad de intercambio catiónico produciendo deficiencias nutricionales para el crecimiento de las plantas. El análisis microbiológico del suelo en estudio permitió identificar las cepas nativas, destacando los géneros de *Burkholderias cepacia*, *Pseudomonas (fluorescens, putida, mendocina)*, y *Aeromonas caviae*, los cuales se reportan en la literatura como bacterias con alto potencial degradativo de compuestos organoclorados. El suelo analizado tiene presencia de altas concentraciones iniciales de los metabolitos de DDT (1.1 mg/kg DDE; 2.4 mg/kg DDD; 9.1 mg/kg DDT) indicando un proceso de deshalogenación en curso, realizado por las bacterias nativas, adaptadas a los pesticidas organoclorados presentes en el suelo.

Mejores resultados de bioremediación estimulada se obtuvieron mediante una bioaumentación con un 56,2% de remoción de DDT, 17,1% de DDD y 44,5% de DDE durante 8 semanas de tratamiento anaerobio y un 46.5% de remoción de DDT, 17.8% de DDD y 8.5% de DDE adicionales después de 20 semanas de tratamiento aerobio consecutivo.

Agradecimientos

Los autores agradecen el soporte financiero para realizar esta investigación, a través del proyecto DGI 053-0614-2400 (Universidad Pontificia Bolivariana)

Literatura citada

1. Agbeve, S., Osei-Fosu, P. & Carboo, D. (2014). Levels of organochlorine pesticide residues in *Mondia whitei*, a medicinal plant used in traditional medicine for erectile dysfunction in Ghana. *Int J Adv Agric Res.*; 1:9–16.
2. Aislabie, J. M., Richards, N.K. & Boul, H.L. (1997), Microbial degradation of DDT and its residues—a review. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, Vol. 40: 269-282
3. Arbeli, Z. (2009). Biodegradación de compuestos orgánicos persistentes (COP): el caso de los bifenilos policlorados (PCB). *Acta Biológica Colombiana. Volumen 4*, Número 1.
4. Baczynski, T., Pleissner, D. & Grotenhuis, T. (2010). Anaerobic biodegradation of organochlorine pesticides in contaminate soil- Significance of temperature and availability. *Chemosphere, volumen 78* pp.22-28.
5. Barrios, M. (2013). En Codazzi solo quedan ruinas de la bonanza algodona. Recuperado de: <https://www.elheraldo.co/region/cesar/en-codazzi-solo-quedan-las-ruinas-de-bonanza-algodonera-103899>
6. Blaine, M. (1993). Soil microbial ecology. Applications in agricultural and environmental management. Marcel Dekker, Inc. New York. 646pp.
7. Betancur B. (2013). Biorremediación de Suelo Contaminado con el Pesticida 1,1,1-Tricloro-2,2'bis(P-Clorofenil) Etano (Ddt) mediante Protocolos de Bioestimulación y Adición de Surfactante. Medellín. (Tesis Magister) ciencias – Biotecnología. Facultad de ciencias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, Colombia, 143 pp.
8. Castro, D. (2008). Caracterización de cepas bacterianas resistentes al dicloro difenil tricloroetano (DDT) y Paratión, aisladas de suelos sometidos a manejo agrícola de diferentes localidades del estado de Mérida. (Tesis de pregrado). Licenciado en Biología. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.
9. Corona-Cruz, A. (1999). Anaerobic-Aerobic Biodegradation of DDT (Dichlorodiphenyl Trichloroethane). *Soils Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 63:219-225
10. CORPOCESAR & Geosísmica y Ambiente. (1997). Estudio de diagnóstico y evaluación del enterramiento de pesticidas en el municipio de Agustín Codazzi y procedimiento de descontaminación y disposición final de los mismos. Valledupar, Cesar, Colombia.
11. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, CORPOICA. (2014). Guía para la toma de muestras de suelo.
12. Eweis, J., Ergas, S., Chang, D. & Schroeder, E. (1999). Principios de Biorrecuperación (Biorremediación). Tratamientos para la descontaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y físico-químicos. Ed. McGraw-Hill ISBN 84-481-2511-8, p 284.

13. Fang, H., Dong, B., Yan, H., Tang, F. & Yu. Y. (2010). Characterization of a Bacterial Strain Capable of Degrading DDT Congeneres and its Use in Bioremediation of Contaminated Soil. *Journal of Hazardous Material*, volumen 184, pp. 1-3.
14. Fuentes, Y. (1999). El suelo y los fertilizantes. 5 ed. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa. 327 p.
15. Kopytko, M., Correa, S. & Plata A. (2016). Sequential reductive and oxidative conditions used to biodegradation of organochlorine pesticides by native bacteria. IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, volumen 138, Number 1. DOI:10.1088.
16. Madigan, M., Clark, D., Martinko, J., & Dunlap, P. (2009). Brock: Biología de los microorganismos. 12 ed. Madrid: Pearson Educación. 1296p. ISBN 978-84-7829-097-0.
17. Mirsal, A. (2008). Soil Pollution. Origin, Monitoring, & Remediation. Berlin: Springer. ISBN 978-3-540-70775-2.
18. Nezha, T *et al.* (2013). Biodegradation: Involved Microorganisms and Genetically Engineered Microorganisms. En Biodegradation life of science. ISBN 978-953-51-1154-2.
19. Ortiz, I., Velasco, A., Le Borgne, S. & Revah, S. (2013) Biodegradation of DDT by stimulation of indigenous microbial populations in soil with cosubstrates. *Biodegradation Vol.24*, 2 pp 215-225.
20. Pensri, P. & Alissara, R. (2011). Bioaugmentation of carbofuran residues in soil by Burkholderia cepacia PCL3: A small-scale field study. *International Biodeterioration & Biodegradation, Volume 65*, Issue 6, Pages 902-905, ISSN 0964-8305. DOI:10.1016/j.ibiod.2011.02.011.
21. Piehler, M.F., Swistak, J.G., Pinckney, J.L. and Paerl, H.W. (1999) Stimulation of Diesel Fuel Biodegradation by Indigenous Nitrogen Fixing Bacterial Consortia. *Microb Ecol* 38: 69-78.
22. Rhykerd R.L., Crews B., McInnes K.J. & Weaver R.W. (1999) Impact of bulking agents, forced aeration and tillage on remediation of oil-contaminated soil. *Biore-sour Technol* 67: 279-285.
23. Ríos, R. (2005). Estudio de la estimulación biológica para el tratamiento de residuos de perforación petrolera empleando lisímetros. Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Iztapalapa. Casa Abierta al Tiempo. México D.F
24. Soler, D. & Prieto, F. (1982). Bonanza y crisis del oro blanco 1960 – 1980. Bogotá, Colombia. Editorial Edigráficas Ltda Bogotá.
25. Tomasini, A. (2011). Biorremediación de suelos contaminados por compuestos organoclorados. En Prado *et al.*, Impacto de la biología molecular y las nuevas tecnologías en el conocimiento de la función celular y sus aplicaciones. ISBN: 978-607-477-560-0.
26. Vásquez, M., Guerrero, J. & Quintero, A. (2010). Biorremediación de lodos contaminados con aceites lubricantes usados. *Revista Colombiana de Biotecnología*, [S.l.], v. 12, n. 1, p. 141-157. ISSN 1909-8758.
27. Xiaomin, L., Zhong, L., Chunling, L., Jing, B., Yingtao, S. & Yongtao, L. (2015). Enhanced microbial degradation of pentachlorophenol from soil in the presence of earthworms: Evidence of functional bacteria using DNA-stable isotope probing. *Soil biology & Biochemistry volume 81*, pp.168-177.
28. Xuejun, W., Xiuying, P., Jing, C., Jundong, H., Fuliu, X. & Shu, T. (2006). Organochlorine pesticides in soil profiles from Tianjin, China. *Chemosphere, volumen 64*, Issue9, pp1514-1520.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: octubre 07 de 2016

Aceptado: octubre 28 de 2016

Evaluación de la efectividad de distintas formulaciones de jabón con extracto de *Hypericum mexicanum* L.

Evaluation of the effectiveness of different formulations of soap with extract of *Hypericum mexicanum* L.

Avaliação da eficácia de diferentes formulações de sabão com extracto de Hipericão mexicanum L.

Diana Carolina Corzo-Barragán² & Diana Milena Gaitán-Vaca¹

¹Ingeniera Agroindustrial, Especialista en Gestión de Proyectos, Magister en Diseño de Productos y Procesos.

²Microbióloga Industrial, Magister en Bioinformática.

^{1,2}Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Avenida calle 63 # 68-95. Bogotá, Colombia.

¹dianacorbarra1@gmail.com; ²dianitadark@hotmail.com

Resumen

Con el objetivo de evaluar la efectividad de distintas formulaciones de jabón líquido y sólido con extracto etanólico de *Hypericum mexicanum* L., se llevó a cabo una prueba de manipuladores. El recuento microbiano permitió analizar la efectividad en cada uno de los tratamientos evaluados, encontrando que el jabón líquido y sólido en concentración del 0,1% de extracto es el más efectivo; sin embargo, no existen diferencias significativas entre la concentración de extracto (0,1 – 0,2%) y el control (jabón comercial). Por otro lado, usando el método de difusión en disco, se evaluó la actividad antimicrobiana de los distintos tratamientos, frente a (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* y *Pseudomonas aeruginosa*), con lo cual se determinó que: 1) el jabón líquido en concentración de 0,1% y 0,2% de extracto vegetal y el jabón comercial inhiben el crecimiento de *Escherichia coli*; 2) todos los tratamientos presentaron inhibición frente

a *Staphylococcus aureus*, exceptuando el de uso comercial y el sólido con extracto vegetal al 0,1%; 3) para *Staphylococcus epidermidis*, se presentó una inhibición del jabón sólido y líquido sin extracto y del jabón líquido con extracto vegetal al 0, 2%; 4) en la evaluación de *Pseudomonas aeruginosa*, se observó inhibición del jabón líquido con concentración de extracto del 0,1% y 0,2% y del jabón comercial.

Palabras clave: actividad antibacteriana, extracto vegetal, producto natural, prueba de manipuladores.

Abstract

To evaluate the effectiveness of different formulations of liquid and solid soap with ethanol extract of *Hypericum mexicanum* L, it was carried out a test handler, the microbial count allowed to observe the effectiveness of each of the treatments evaluated, finding that liquid and solid concentration of 0,1% extract soap is the most effective, however, no

¹ Autor responsable de correspondencia: Diana Carolina Corzo Barragán. Teléfono: 3114466699. Dirección: Avenida calle 63 # 68-95. Bogotá, Colombia. dianacorbarra1@gmail.com

significant differences between the concentration of extract (0.1 - 0.2%) and control (commercial soap). Furthermore, using the disk diffusion method, the antimicrobial activity of different treatments against (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* and *Pseudomonas aeruginosa*) was evaluated, whereby it was determined that: 1) liquid soap in concentration of 0.1% and 0.2% plant extract and commercial soap inhibit the growth of *Escherichia coli*; 2) all treatments showed inhibition against *Staphylococcus aureus*, except for commercial use and solid vegetable extract 0.1%; 3) for *Staphylococcus epidermidis*, inhibition of solid and liquid soap without extract and liquid soap with plant extract at 0, 2% was introduced; 4) in the evaluation of *Pseudomonas aeruginosa*, liquid soap inhibition was observed with extract concentration of 0.1% and 0.2% commercial soap.

Key-words: antimicrobial activity, vegetable extract, natural product, test handler,

Resumo

Com o objetivo de avaliar a efetividade de diferentes formulações de sabonete líquido e sólido com extrato de etanol de *Hypericum mexicanum* L., foi feita um teste de manipulação. A contagem

microbiana permitiu analisar a efetividade de cada um dos tratamentos avaliados, encontrando-se que o sabonete líquido e sólido em concentrações de 0,1% de extrato é o mais eficiente. No entanto, diferenças significativas não existem entre a concentração do extrato (0,1 – 0,2%) e o controle (sabonete comercial). Utilizando-se o método de difusão em disco foi avaliada a atividade antimicrobiana dos diferentes tratamentos frente a (*Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis* e *Pseudomonas aeruginosa*), determinando-se: 1) o sabonete líquido nas concentrações de 0,1% e 0,2% de extrato vegetal e o sabonete comercial inibem o crescimento de *Escherichia coli*; 2) todos os tratamentos apresentaram inibição para *Staphylococcus aureus*, com exceção do uso comercial e o sólido com extrato vegetal ao 0,1%; 3) para *Staphylococcus epidermidis*, foi observada inibição do sabonete sólido e líquido sem extrato e do sabonete líquido com extrato vegetal ao 0, 2%; 4) na avaliação de *Pseudomonas aeruginosa*, foi observada inibição do sabonete líquido na concentração do extrato de 0,1% e 0,2% e do sabonete comercial.

Palavras-chave: atividade antibacteriana, extrato vegetal, produto natural, teste de manipulação.

Introducción

Si bien Colombia tiene una alta diversidad de recursos vegetales, estos aún no han sido estudiados en su totalidad. En esta perspectiva, entidades como el Jardín Botánico de Bogotá –JBB- adelanta estudios de bioprospección orientados al desarrollo de investigaciones que conduzcan a la búsqueda de productos naturales con propiedades medicinales, industriales, farmacológicas y/o biotecnológicas. Los estudios de bioprospección involucran el conocimiento de la biodiversidad y pueden estar soportados en saberes tradicionales o indígenas (Melgarejo *et al.*, 2002). Los resultados de este tipo de investigaciones han promovido el uso de productos farmacéuticos derivados de fuentes naturales, los cuales se han convertido en una alternativa para el tratamiento de enfermedades

causadas por la proliferación de microorganismos patógenos. En este sentido y considerando la importancia que tiene hoy en día la búsqueda de fuentes naturales, las plantas son una opción para la obtención de compuestos bioactivos. Las investigaciones en este campo son cada vez más numerosas; así, en los últimos años, más de la mitad de los productos farmacéuticos son derivados de fuentes naturales (Newman & Cragg, 2007).

En la región andina existen diversas especies nativas con potenciales aún no estudiados; una de estas especies es *Hypericum mexicanum* L., llamada comúnmente chite, en las zonas rurales del Distrito Capital de Bogotá. La decocción de hojas

de *Hypericum mexicanum* L., es usada para tratar problemas renales o en baños para lavar heridas; igualmente, sus raíces, mezcladas con otras especies, se toman para aliviar dolores (Gutiérrez, Pineda, García, 2011). El uso etnobotánico del género *Hypericum* es conocido a nivel mundial; sus hojas y aceites esenciales son empleados para el tratamiento de diversas enfermedades. Varias especies de *Hypericum* han demostrado actividad antibacteriana contra microorganismos como *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* o *Bacillus subtilis*. Esto podría explicar el uso popular de algunas especies de *Hypericum* para la curación de heridas y el tratamiento de enfermedades infecciosas (Ishiguro, Yamaki, Kashihara, & Takagi, 1986; Jayasuriya, McChesney, Swanson, 1989; Rocha *et al.*, 1994; Yamaki & Ishiguro, 1994). La especie más estudiada del género *Hypericum* es *H. perforatum* L., la cual ha sido objeto de varios estudios por su potencial biotecnológico; ensayos clínicos han validado su uso como antidepresivo, antiviral -antirretroviral, incluidos los efectos anti-VIH-, y actividades antibacterianas (Barnes, Anderson, & Phillipson, 2001) including antidepressant, antiviral, and antibacterial effects, provide supporting evidence for several of the traditional uses stated for St John's wort. Many pharmacol. activities appear to be attributable to hypericin and to the flavonoid constituents; hypericin is also reported to be responsible for the photosensitive reactions that have been documented for St. John's wort. With regard to the antidepressant effects of St John's wort, hyperforin, rather than hypericin as originally thought, has emerged as one of the major constituents responsible for antidepressant activity. Further research is required to det. which other constituents contribute to the antidepressant effect. Evidence from randomized controlled trials has confirmed the efficacy of St John's wort exts. over placebo in the treatment of mild-to-moderately severe depression. Other randomized controlled studies have provided some evidence that St John's wort exts. are as effective as some std. antidepressants in mild-to-moderate depression. There is still a need for further trials to assess the efficacy of St John's wort exts., compared with that of std. antidepressants, particularly newer antidepressant agents, such as the selective serotonin

reuptake inhibitors (recent comparative studies with fluoxetine and sertraline have been conducted. La actividad antibacteriana también se ha reportado para otras especies de *Hypericum* (Gibbons, 2008; Gibbons, Ohlendorf, & Johnsen, 2002; Pistelli *et al.*, 2000; Rabanal, Arias, Prado, Hernández-Pérez, & Sánchez-Mateo, 2002); otros estudios califican al género *Hypericum* como fuente potencial antibacteriana (Gibbons, 2008). Estudios preliminares evidenciaron que *H. mexicanum* inhibe el crecimiento bacteriano de *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* y *Staphylococcus aureus* (Rodríguez, 2012).

Considerando el potencial de la especie, se elaboró un jabón desinfectante en presentación sólida y líquida, empleando como ingrediente activo el extracto etanólico de las hojas de *Hypericum mexicanum* L., en dos concentraciones, para posteriormente verificar la efectividad del producto terminado mediante la realización de la prueba de manipuladores, la cual permitió conocer la cantidad de microorganismos presentes antes y después del uso del producto; adicionalmente, los productos fueron probados, por medio de la técnica de difusión en disco, frente a cepas de referencia: *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* y *Staphylococcus epidermidis*.

Materiales y métodos

Recolección de material vegetal y obtención de extracto: Se recolectaron hojas de *Hypericum mexicanum* L. en la localidad de Sumapaz (4°15'36"N 74°10'42"O); un espécimen para identificación y testigo fue colectado por el biólogo Gustavo Morales y reposa en el herbario del Jardín Botánico de Bogotá -identificado como GM 3550-. El extracto etanólico, fue obtenido por la línea de fitoquímica, siguiendo el siguiente procedimiento: se secaron las hojas a temperatura ambiente por 8 días; posteriormente se hizo una reducción de tamaño de forma mecánica y se sometió a maceración en frío usando etanol al 96% en recipientes ámbar por 3 días; luego se filtró y el extracto etanólico resultante se concentró sucesivamente a presión reducida en un rotavaporador marca Heidolph; el extracto se

almacenó hasta su uso en cabina de extracción de gases LEX C-4.

Formulación de producto desinfectante: Se formuló un producto desinfectante en presentación líquida y sólida usando base neutra de glicerina para el jabón sólido y texapón para el jabón líquido; en cada una de las presentaciones se empleó una concentración de extracto vegetal de 0,1% y 0,2%, además de moldes, recipientes, balanza y vidriería de medición. Para la elaboración de jabón artesanal se siguió el procedimiento descrito por Westerman (Westerman, 2001). En total se evaluaron siete tratamientos: 1) jabón con 0% de extracto en presentación sólida; 2) jabón con 0% de extracto en presentación líquida; 3) jabón con 0,1% de extracto en presentación sólida; 4) jabón con 0,1% de extracto en presentación líquida; 5) jabón con 0,2 % extracto en presentación sólida; 6) jabón con 0,2% extracto en presentación líquida y 7) jabón comercial en presentación líquida -empleado como control-.

Efectividad del producto: la efectividad del producto fue evaluada por el personal técnico operativo de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá, mediante la realización de la prueba de manipuladores, la cual se hizo antes y después del lavado de manos -con cada uno de los siete tratamientos-, por medio de un frotis realizado con hisopos de algodón estéril en la mano predominante, para ello se adaptó la metodología de Alvarado, García & Arias-echandi (2010). El hisopo se introdujo en solución salina (0.85% p/v), para luego realizar la respectiva siembra en agar nutritivo + nistatina -para aislamiento de bacterias-. Las cajas se sembraron por separado mediante la técnica de agotamiento y se incubaron a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas (Castro, 2011). Transcurrido el tiempo de incubación, se llevó a cabo el recuento en placa y la identificación microscópica de las bacterias por medio de tinción de Gram. Los ensayos se realizaron por triplicado antes y después del uso de cada tratamiento. El lavado de manos se realizó teniendo en cuenta las siguientes características: se humedecieron las palmas de las manos con agua potable; se aplicó 1 ml de jabón en el caso de la presentación líquida y 0.5 g de jabón en presentación sólida; se frotó por 30

segundos, se enjuagó con 200 ml de agua potable y se secaron las manos con toallas de papel estéril; para verificar la pureza del medio y descartar contaminación se incubaron tres cajas Petri sin inocular.

Evaluación de actividad antimicrobiana frente a cepas de referencia: Se probaron los distintos tratamientos, frente a bacterias Gram negativas y Gram positivas (*E. coli*, ATCC 25922, *P. aeruginosa*, ATCC 9027, *S. aureus* ATCC 25923, *S. epidermidis* ATCC, 1228), procedentes de cepas de referencia obtenidas del cepario de la Universidad Javeriana Sede Bogotá; estas bacterias fueron seleccionadas por su importancia en la salud pública. Se empleó la técnica de difusión en pozo para evidenciar la inhibición de los distintos tratamientos; para ello se aislaron las bacterias en agar nutritivo, preparado según especificaciones de la casa matriz, por la técnica de agotamiento, se incubaron a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas. Posteriormente, con ayuda de un asa redonda, se tomaron 2 a 5 colonias y se solubilizaron en solución salina estéril (0,85% p/v) hasta alcanzar la turbidez comparable con el patrón N° 5 de MacFarland. Para el ensayo de actividad antibacterial, se llevó a cabo una siembra masiva en agar nutritivo de 100 μl del patrón de MacFarland, posteriormente se realizaron pozos de 0,5 cm de diámetro y se depositaron 50 μl de cada tratamiento en cada pozo; como control positivo se usó cloranfenicol en concentración de 100 $\mu\text{g/ml}$ y como control negativo se empleó solución salina estéril 0,85% (p/v). Finalmente, las cajas Petri se incubaron a $35 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas (Alvarado *et al.*, 2010). Los ensayos se realizaron por triplicado.

El porcentaje de inhibición se calculó mediante la ecuación 1, teniendo como referencia el control positivo y la medición del halo de los extractos.

$$\% \text{Inhibición} = \frac{\phi \text{ halo extracto} - \phi \text{ halo blanco}}{\phi \text{ halo control positivo} - \phi \text{ blanco}} \quad (1)$$

Análisis estadístico: Se verificó el supuesto de normalidad mediante la prueba de Shapiro Wilk modificada ($p < 0,05$) y se corroboró que no eran normales; por tanto, se evaluó diferencia de efectividad entre los tratamientos con la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis. Los análisis se realizaron usando el software Statistica 8.0.

Resultados

Se identificaron las bacterias aisladas en los manipuladores antes del uso de los tratamientos, por medio de tinción de Gram. Los resultados encontrados

en los aislamientos pertenecen a bacilos Gram positivos y Gram negativos (Figura 1).

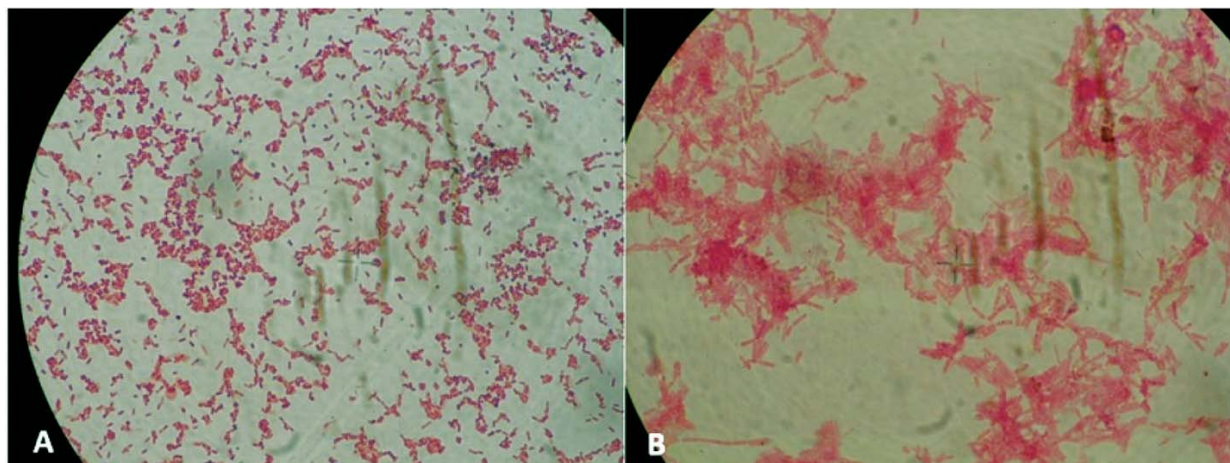


Figura 1. Identificación microscópica de bacterias aisladas a partir de muestreo realizado al personal técnico operativo de la de la Subdirección Científica del Jardín Botánico de Bogotá. (A) cocos Gram negativos, (B) bacilos Gram negativos.

Efectividad del producto:

En la Tabla 1 se presenta los datos de los resultados para jabón líquido y sólido.

Tabla 1. Análisis de los datos obtenidos para bacterias.

Bacterias			
Tratamiento	N	% Efectividad X±DP líquido	% Efectividad X±DP sólido
A	21	54.31 ± 48.20^a	21.21 ± 37.55^a
B	21	54.39 ± 48.32^{bc}	79.26 ± 35.54^b
C	21	82.34 ± 34.49^{cd}	72 ± 33^b
D	21	40.87 ± 48.50^{abd}	-

Letras iguales en la misma columna indican la ausencia de diferencias significativas a través de la prueba de Kruskal-Wallis ($p < 0.05$). N: número de réplicas.

A: Jabón con 0 % de extracto

B: Jabón con 0,1 % de extracto

C: Jabón con 0,2 % de extracto

D: Comercial

El análisis estadístico evidenció que el tratamiento líquido con mayor efectividad fue el de extracto 0,2%, sin embargo, el jabón con 0,1% de extracto

y el comercial no son diferentes estadísticamente. Se sugiere usar la concentración 0,1%, puesto que al emplear una menor cantidad de extracto sigue siendo efectivo, aunque no existen diferencias significativas entre los jabones con adición de extracto y el comercial; en este sentido, se estarían reemplazando sustancias sintéticas con el mismo efecto. En estado sólido el tratamiento con 0,1% de extracto tiene mayor porcentaje de efectividad, aunque no existen diferencias estadísticas entre el tratamiento con 0,1% y 0,2% de extracto; se recomienda usar

la concentración 0,1% porque tiene menor cantidad de extracto.

Evaluación actividad antibacteriana frente a cepas de referencia

En la Tabla 2 se evidencian los resultados cualitativos de la inhibición de los tratamientos frente a las bacterias de referencia (*E. coli*, *S. aureus*, *S. epidermidis*, *P. aeruginosa*). Se representó como (+) la inhibición de los extractos, mientras que las que no presentaron actividad se marcaron como (-).

Tabla 2. Resultados cualitativos de la prueba de actividad antimicrobiana frente a bacterias de referencia.

Bacteria	L 0	S 0	S 0,1	S 0,2	L 0,1	L 0,2	C
<i>Escherichia coli</i>	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(+)
<i>Sthaphylococcus aureus</i>	(+)	(+)	(-)	(+)	(+)	(+)	(-)
<i>Sthaphylococcus epidermidis</i>	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	(-)	(+)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	(+)	(-)	(-)	(-)	(+)	(+)	(-)

L0: líquido con 0% de extracto; **S 0:** sólido con 0% de extracto; **S 0,1:** sólido con 0,1 % de extracto; **S 0,2:** sólido con 0,2% de extracto; **L 0,1:** líquido con 0,1% de extracto; **L 0,2:** líquido con 0,2% de extracto; **C:** jabón comercial en estado líquido.

Los resultados obtenidos demuestran una actividad antibacteriana del jabón líquido con extracto vegetal al 0,1% y del jabón comercial frente a *E. coli*. Los jabones sólidos y líquidos en todas las concentraciones presentaron inhibición frente a *S. aureus*, incluso el que no tenía extracto funcionó más que el comercial. El jabón elaborado con extracto vegetal de *H. mexicanum* en presentación líquida y con las distintas concentraciones evaluadas tiene actividad inhibitoria frente a los microorganismos estudiados, con un porcentaje mayor que el producto comercial usado como patrón de referencia, confirmando la efectividad de las distintas formulaciones de jabón, convirtiéndolo en una especie promisorio para la bioprospección.

Discusión

Los resultados de efectividad del producto desinfectante, usando extracto etanólico de *H. mexicanum*, concuerdan con lo reportado para el género por su actividad (Decosterd, Stoeckli-Evan, Msonthi & K., 1986). Otras investigaciones reportan actividad antifúngica contra *Candida albicans* (Rath, Potterat, Mavi & Hostettmann, 1996), actividad conferida por sustancias etanólicas que se encuentran en la raíz de la planta. El estudio de Rocha *et al.*, (1994) reportó sustancias aisladas del extracto de diclorometano de la corteza y raíz de *Hypericum brasiliense* con actividad contra *Cladosporium cucumericum*. Adicionalmente, (Mukherjee, Saritha & Suresh, 2002) encontraron que los extractos clorofórmico

y etanólico de las hojas y cortezas de *Hypericum patulum* e *Hypericum mysorense* tienen un efecto antifúngico contra hongos de importancia clínica.

Con respecto a la evaluación de la actividad antibacteriana frente a las cepas de referencia, los resultados concuerdan con lo obtenido por Nogueira *et al.* (2013), quienes evaluaron la actividad antimicrobiana de 15 especies del género *Hypericum* en Portugal, obteniendo actividad antimicrobiana frente a *S. aureus*. Con respecto a la cepa de *S. epidermidis*, se obtuvo una inhibición del jabón líquido; a diferencia de lo reportado por el estudio de (Dall'Agnol *et al.*, 2003) [H. carinatum Griseb., H. connatum Lam., H. ternum A. St. Hil., H. myrianthum Cham. & Schlecht. and H. polyanthemum Klotzsch ex Reichardt] growing in southern Brazil were analyzed for antimicrobial activity against several microorganisms (bacteria and fungi, en el cual ninguna de las seis especies evaluadas del género *Hypericum* presentó actividad antibacteriana frente a este microorganismo. Para *P. aeruginosa* se observó inhibición del jabón líquido con concentración de extracto del 0,1% y 0,2%, resultado congruente con lo encontrado por Sarkisian *et al.* (2012), quienes probaron siete metabolitos secundarios aislados de las especies *Hypericum densiflorum*, *Hypericum ellipticum*, *Hypericum prolificum*, y *Hypericum punctatum* como inhibidores de crecimiento de bacterias como *Staphylococcus spp.*, *Escherichia coli* y *Pseudomonas aeruginosa*; estos resultados concuerdan con el estudio de Gibbons *et al.* (2002), en el cual se indica que el género *Hypericum* tiene un gran potencial para producir compuestos antibacterianos.

Adicionalmente, los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con la evaluación de la actividad antibacteriana realizada por Rodríguez (2012) y, de la misma manera, ratifica el uso etnobotánico reportado. Por lo tanto, se puede decir que la especie presenta potencial antibacteriano, el cual se sugiere seguir estudiando con el fin de identificar la fracción responsable de la actividad antibacteriana, esto puede permitir que la especie se emplee como ingrediente bioactivo. Se concluye que los jabones formulados con extracto vegetal de *Hypericum mexicanum* L. tienen actividad antibacteriana

frente a microorganismos de importancia en salud pública como *E. coli*, *S. aureus*, *S. epidermidis* y *P. aeruginosa*. Dando resultado al objetivo del presente trabajo y ampliando el potencial investigativo del género *Hypericum*.

Agradecimientos

Las autoras expresan su agradecimiento al Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis, centro de investigación y desarrollo científico, por el apoyo para la realización de esta investigación; a Erika Andrea Plazas, por la realización del extracto crudo; a las personas de la Subdirección Científica que colaboraron con la prueba de manipuladores y a Edna Arévalo y Johana Romero, por su apoyo en el análisis estadístico.

Literatura citada

1. Alvarado, D., García, J. D. & Arias-echandi, M. L. (2010). Manos y su estabilidad a través del tiempo, 21(1), 29–31.
2. Barnes, J., Anderson, L. A. & Phillipson, J. D. (2001). St John's wort (*Hypericum perforatum* L.): a review of its chemistry, pharmacology and clinical properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 53(5), 583–600. <https://doi.org/10.1211/0022357011775910>
3. Castro, C. (2011). Manual de toma de muestras. Unidad clínica de enfermedades infecciosas y microbiología, 112. Recuperado de: http://ahvalme.org/RepositorioDocman/ugc/infecciosos/Manual_Toma_Muestras_Microbiologia.pdf
4. Dall'Agnol, R., Ferraz, a, Bernardi, a P., Albring, D., Nör, C., Sarmiento, L.,... & Schapoval, E. E. S. (2003). Antimicrobial activity of some *Hypericum* species. *Phytomedicine : International Journal of Phytotherapy and Phytopharmacology*, 10, 511–516. <https://doi.org/10.1078/094471103322331476>
5. Decosterd, L., Stoeckli-Evan, H., Msonthi, J.D., H. & K. (1986). A new antifungal chromene and a related dichromene from *Hypericum revolutum*. *Planta Médica*, 55, 429.
6. Gibbons, S. (2008). Phytochemicals for bacterial resistance--strengths, weaknesses and opportunities. *Planta Médica*, 74(6), 594–602. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1074518>
7. Gibbons, S., Ohlendorf, B., & Johnsen, I. (2002). The genus *Hypericum* - A valuable resource of anti-*Staphylococcal* leads. *Fitoterapia*, 73 (4), 300–304. [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(02\)00082-5](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(02)00082-5)

8. Gutiérrez, M., Pineda, M. & García, A. (2011). Las maticas de mi región. In Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. (p. 33).
9. Ishiguro, K., Yamaki, M., Kashihara, M. & Takagi, S. (1986). Sarothralen A and B, new antibiotic compounds from *Hypericum japonicum*. *Planta Médica*, 52 (Table II), 288–90. <https://doi.org/10.1055/s-2007-969154>
10. Jayasuriya H, McChesney JD, Swanson SM, P. J. (1989). Antimicrobial and cytotoxic activity of rottlerin-type compounds from *Hypericum drummondii*. *Journal of Natural Products*, 52(2), 325–331
11. Melgarejo, L. M., J. Sánchez, A. Chaparro, F. NEWMARK, M. Santos-Acevedo, C. Burbano & Reyes, C. (2002). Aproximación al estado actual de la bioprospección en Colombia Bogotá: Cargraphics 334p.--(Serie de Documentos Generales INVEMAR No.10). Recuperado de: http://www.invemar.org.co/redcostera1/invemar/docs/ESTADO_BIOPROSPECCION.pdf
12. Mukherjee, P. K., Saritha, G. S. & Suresh, B. (2002). Antimicrobial potential of two different *Hypericum* species available in India. *Phytotherapy Research*, 16(7), 692–695. <https://doi.org/10.1002/ptr.1016>
13. Newman, D. J., & Cragg, G. M. (2007). Natural products as sources of new drugs over the last 25 years. *Journal of Natural Products*. <https://doi.org/10.1021/np068054v>
14. Nogueira, T., Medeiros, M. A., Marcelo-Curto, M. J., García-Pérez, B. E., Luna-Herrera, J. & Costa, M. C. (2013). Profile of antimicrobial potential of fifteen *Hypericum* species from Portugal. *Industrial Crops and Products*, 47, 126–131. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.03.005>
15. Pistelli, L., Bertoli, A., Zucconelli, S., Morelli, I., Panizzi, L. & Menichini, F. (2000). Antimicrobial activity of crude extracts and pure compounds of *Hypericum hircinum*. *Fitoterapia*, 71(SUPPL. 1). [https://doi.org/10.1016/S0367-326X\(00\)00189-1](https://doi.org/10.1016/S0367-326X(00)00189-1)
16. Rabanal, R. ., Arias, A., Prado, B., Hernández-Pérez, M. & Sánchez-Mateo, C. . (2002). Antimicrobial studies on three species of *Hypericum* from the Canary Islands. *Journal of Ethnopharmacology*, 81(2), 287–292. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(02\)00083-1](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(02)00083-1)
17. Rath, G., Potterat, O., Mavi, S. & Hostettmann, K. (1996). Xanthenes from *Hypericum roeperanum*. *Phytochemistry*, 43(2), 513–520. [https://doi.org/10.1016/0031-9422\(96\)00284-1](https://doi.org/10.1016/0031-9422(96)00284-1)
18. Rocha, L., Marston, A., Auxiliadora, M., Kaplan, C., Stoeckli-Evans, H., Thull, U., ... Hostettmann, K. (1994). An antifungal gamma-pyrone and xanthenes with monoamine oxidase inhibitory activity from *Hypericum brasiliense*. *Phytochemistry*, 36(6), 1381–1385. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)89727-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)89727-7)
19. Rodríguez, V. (2012). Estudio fitoquímico preliminar y evaluación de la actividad antibacteriana in vitro de extractos y fracciones de la especie *Hypericum mexicanum*. Universidad del Bosque.
20. Sarkisian, S. A., Janssen, M. J., Matta, H., Henry, G. E., Laplante, K. L., & Rowley, D. C. (2012). Inhibition of bacterial growth and biofilm production by constituents from *Hypericum* spp. *Phytotherapy Research*, 26(7), 1012–1016. <https://doi.org/10.1002/ptr.3675>
21. Serman, C. (2001). Jabones Esenciales. (Cartoné Y Color, Ed.).
22. Yamaki, M. & Ishiguro, K. (1994). Antimicrobial activity of naturally occurring and synthetic phloroglucinol against *Staphylococcus aureus*. *Phytotherapy Research*, 8(2), 112–114.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 07 de 2016

Aceptado: octubre 20 de 2016

Efectos tóxicos del paracetamol en la salud humana y el ambiente

Toxic effects of paracetamol on human health and the environment

Efeitos tóxicos do paracetamol na saúde humana e no ambiente

Rosa Leonor Acevedo-Barrios¹, Carlos Alberto Severiche-Sierra² & Jose Del Carmen Jaimes Morales³

¹Bióloga, Magister en Microbiología, Doctora en Toxicología Ambiental. ²Químico, Especialista en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Especialista en Seguridad y Salud en el Trabajo, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, Doctor en Ciencias. ³Licenciado en Biología y Química, Ingeniero de Alimentos, Especialista en Ciencia y Tecnología, Magister en Ciencia y Tecnología, Magister en Ingeniería Química, Doctor en Ciencias.

¹Grupo de Investigación en GISAH. Grupo de Investigación en Estudios Químicos y Biológicos- Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias, Colombia.

^{2,3}Grupo de investigación en Medio Ambiente, Alimentos y Salud MAAS – Universidad de Cartagena. Cartagena de Indias, Colombia.

¹racevedo@unitecnologica.edu.co, ²cseveriches@unicartagena.edu.co, ³jjaimesm@unicartagena.edu.co

Resumen

En este artículo se detallan los efectos tóxicos del paracetamol en la salud humana y el ambiente, detallando las generalidades del paracetamol APAP. El metabolismo del APAP y factores potenciales que influyen en su toxicidad, pasando por estudios de toxicidad y por último el destino ambiental. El paracetamol es un analgésico de uso común, presenta alta hidrosolubilidad, eliminándose hasta un 90% por gluconación o sulfación; pero su metabolito N-acetil-para-benzoilquinoneimina en ocasiones se expulsa por medio de las heces y orina, volviéndose un compuesto tóxico persistente. Se observan efectos crónicos principalmente en organismos acuáticos, a través de la exposición a diferentes concentraciones de APAP durante un prolongado período de tiempo.

Palabras clave: ambiente, contaminación, efectos, salud, tóxicos

Abstract

This article details the toxic effects of paracetamol in human health and the environment, detailing the General characteristics of the APAP acetaminophen. The metabolism of the APAP and potential factors influencing their toxicity, through studies of toxicity and environmental fate. Paracetamol is a commonly used analgesic, presents high water solubility, eliminating up to 90% by gluconation or sulfation; but its metabolite n-acetyl - for-benzoilquinoneimina sometimes is expelled through faeces and urine, becoming a compound toxic persistent. Chronic effects are seen mainly in aquatic organisms, through exposure to different concentrations of APAP for an extended period of time.

Key-words: environment, pollution, effects, health, toxic

Resumo

Neste artigo mostram-se os efeitos tóxicos do paracetamol na saúde humana e no ambiente, detalhando as generalidades do paracetamol APAP. O metabolismo do APAP e fatores potenciais que influenciam na sua toxicidade, estudos de toxicidade e finalmente o destino ambiental. O paracetamol é um analgésico de uso comum que apresenta alta hidro solubilidade, sendo eliminado até 90% por glicação ou sulfatação. No entanto, seu metabolito

N-acetil-para-benzoilquinoneimina, ocasionalmente é expulso nas fezes e na urina se convertendo em um composto tóxico persistente. Observam-se efeitos crónicos principalmente nos organismos aquáticos através da exposição a diferentes concentrações de APAP durante tempo prolongado.

Palavras-chave: ambiente, contaminação, efeitos, saúde, tóxicos

Introducción

El impacto de las descargas de varios contaminantes orgánicos emergentes en ambientes acuáticos; es cada vez más preocupante porque representan una amenaza para el medio, presentándose efectos como la toxicidad aguda y crónica de los organismos y personas expuestas, bioacumulación en el ecosistema, pérdida de hábitats y de biodiversidad, así como amenazas a la salud humana (Vargas & Ruiz, 2007; Iannacone & Alvaríño, 2009; Wu *et al.*, 2011; Rudolph *et al.*, 2011; Emelogu *et al.*, 2013; Jaimés *et al.*, 2014; Yan *et al.*, 2014; Acevedo *et al.*, 2015). Entre los contaminantes orgánicos emergentes, se encuentran los productos farmacéuticos; que debido a su amplio uso por humanos están abundantemente distribuidos en los ecosistemas acuáticos y terrestres y presentes en las heces, residuos sanitarios, plantas de tratamiento de aguas residuales –EDAR-. (Yangali *et al.*, 2010; Kleywegt *et al.*, 2011; Loos *et al.*, 2013; Darryl *et al.*, 2011). La alta distribución ambiental de estos contaminantes orgánicos emergentes como el paracetamol, sus metabolitos y sus posibles efectos ecotoxicológicos ha suscitado preocupación entre los investigadores, las autoridades reguladoras y la comunidad en general (Torreblanca & López, 2005; Söderström *et al.*, 2009; Segura *et al.*, 2011; Yan *et al.*, 2014; Hiroshi *et al.*, 2009).

El Paracetamol (APAP) es un analgésico, antipirético seguro y eficaz. Está ampliamente disponible como un medicamento de uso frecuente. Anualmente se producen 145.000 toneladas de APAP

en el mundo; pero a pesar de su seguridad cuando no se utiliza correctamente, es uno de los fármacos más comunes responsables de reportes de sobredosis en los centros de toxicología. Su toxicidad produce hepatotoxicidad con dosis de 325 mg que también pueden afectar los riñones, corazón y Sistema Nervioso Central (SNC); generando insuficiencia hepática fulminante y en el peor de los casos la muerte. Otros estudios indican que una sobredosis de APAP en mujeres embarazadas, puede producir en el primer trimestre de gestación abortos espontáneos, nacimiento de niños prematuros, con bajo peso al nacer y muerte fetal en el segundo trimestre. (Scialli *et al.*, 2010; Chalermrat *et al.*, 2013, Fahad *et al.*, 2008). La Toxicidad de APAP puede ser la consecuencia de cualquier sobredosis aguda o de dosificación excesiva repetida -ingestión repetida supratrapéutica-, o toxicidad no intencional; que también puede ocurrir por el uso simultáneo de diferentes medicamentos comerciales que contienen APAP (Mancipe *et al.*, 2010). APAP presenta alta hidrosolubilidad, eliminándose hasta un 90% por gluconación o sulfación; pero su metabolito N-acetil-para-benzoilquinoneimina (NAPQI) es más tóxico y más persistentes que el compuesto original APAP. Sus emisiones son un problema porque algunos procesos en aguas residuales sufren diferentes transformaciones produciendo metabolitos tóxicos que pasan en la cadena alimenticia por medio acuoso; este es considerada la entrada de APAP en el medio ambiente; los efectos crónicos, a través de la exposición a diferentes concentraciones de APAP durante un prolongado período de tiempo, se miden a través de la afectación de la biota en parámetros

específicos tales como el índice de crecimiento y las tasas de reproducción en los diferentes niveles tróficos -algas, zooplancton y otros invertebrados y peces- (Santos *et al.*, 2010).

La vía más reportada de contaminación es a través de su excreción inalterada en la orina y las heces; también por mecanismos antropogénica como la descarga accidental de APAP de uso humano; metabolismo post-consumo, eliminación de los hogares a través de los baños -principal fuente de contaminación de los ecosistemas-, e Impactos por actividades de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (EDAR) (Bastos & Oliveira, 2009). Por eso no sorprende que en Estados Unidos, la principal fuente de fabricación y consumo de APAP, estudios hayan reportado 10 veces mayores intoxicaciones causantes de hepatotoxicidad en humanos que en Europa y Asia; por su alto consumo, sólo en 2010 se formularon más de 30 millones de prescripciones médicas de APAP. Por lo anterior, se hace necesario conocer los valores de referencia de la dosis umbral, cálculo del cociente de peligro para humanos y ambiente; de manera que se pueda identificar el riesgo potencial en personas y seres vivos por la ingestión o exposición a APAP y/o su metabolito tóxico (NAPQI). En este artículo, se analizan una serie de aspectos toxicológicos causados por APAP en la salud y el ambiente obtenidos de la literatura (Novack *et al.*, 2005; Novack *et al.*, 2006; Yan *et al.*, 2014). Se hace una revisión bibliográfica exhaustiva de los efectos del paracetamol en la salud y el ambiente, detallando las generalidades del paracetamol, su metabolismo y factores potenciales que influyen en su toxicidad, y por último las fuentes de contaminación ambiental del paracetamol.

Generalidades del paracetamol

El paracetamol es indicado en úlcera gástrica y duodenal, gastritis y hernia hiatal, alergia a los salicilatos y en pacientes con hemofilia o que reciben anticoagulantes. Efectos del APAP en órganos han reportado que dosis tóxicas dañan el hígado, riñones, corazón y SNC; producen daño hepático que se desarrolla en horas, como consecuencia de la oxidación a (NAPQI) (Valdivia, 2011). Su toxicidad puede presentar las siguientes reacciones: náuseas,

vómitos, dolor abdominal y malestar general, reacciones de hipersensibilidad, nefropatía, usualmente por uso excesivo o prolongado), alteración de la función hepática, hepatotoxicidad y pancreatitis, -en pacientes que superaron las dosis recomendadas- (Bravo *et al.*, 2012). La literatura científica no reporta hallazgos específicos tempranos después de una sobredosis de APAP. Raramente se pueden producir alteraciones hematológicas y pancreatitis, en pacientes que superaron las dosis recomendadas. Aunque estos síntomas pueden mejorar con las primeras 24 horas, la lesión hepática progresiva se puede manifestar ya en el día de 2 a 3. Las enzimas del hígado normalmente comienzan a aumentar de 24 a 36 horas después de una sobredosis y producir lesiones hepáticas máximas entre 3 a 5 días con la aparición de ictericia, coagulopatía y encefalopatía. El daño renal, oliguria e insuficiencia renal aguda se pueden observar también llegando a producir nefrotoxicidad (Arnao *et al.*, 2012). El estado mental es normalmente claro después de una sobredosis de APAP. En raras ocasiones, las sobredosis pueden resultar en coma. La interacción entre APAP y etanol es compleja, la administración crónica de etanol a ratas aumenta la toxicidad hepática causada por APAP (Mohar *et al.*, 2014).

Metabolismo del paracetamol y factores potenciales que influyen en su toxicidad

El metabolismo de APAP ocurre en el hígado por conjugación con ácido glucurónico o sulfatos y el resto es metabolizado por el citocromo P-2E1 al Metabolito tóxico (NAPBQ). Tras una ingestión aguda la glucuronidación y sulfatación se saturan. Como resultado hay un incremento en la producción y acumulación de NAPBQ que reacciona agotando el glutatión, uniéndose a residuos de cisteína en las proteínas de la superficie de los hepatocitos hasta causar necrosis. Estudios en ratón indican que el NAPBQ reactivo se une a proteínas mitocondriales produciendo estrés oxidativo mitocondrial (ROS) produciendo aductos (APAP-proteína) hasta causar necrosis del tejido del hepatocito (McGill *et al.*, 2012).

Farmacocinética del paracetamol: APAP se absorbe rápidamente en el tracto gastrointestinal (TGI) con concentraciones máximas alcanzadas dentro de los

90 minutos de una dosis terapéutica. La presencia de alimentos en el estómago puede retrasar el pico, pero no el grado de absorción. Su distribución es rápida con un volumen de distribución (V_d) de aproximadamente 0,9 l/kg. La vida media de APAP es de 2,0 a 2,5 h, en caso de lesión hepática, la vida media se prolonga a más de 4 h; Siendo prácticamente indetectable en el plasma 8 h después de su administración. La absorción rápida y completa de APAP ocurre por el tracto digestivo. Las concentraciones plasmáticas máximas se alcanzan a los 30-60 minutos, aunque no están del todo relacionadas con los máximos efectos analgésicos. En la insuficiencia renal pueden acumularse los metabolitos pero no el fármaco sin alterar (De Laurentiis *et al.*, 2014; Larocque & Bailey, 2010).

Mecanismo de acción del paracetamol: Se desconoce el mecanismo exacto de la acción de APAP aunque se sabe que actúa a nivel central. Se cree

que APAP aumenta el umbral al dolor inhibiendo las ciclooxigenasas en el sistema nervioso central, enzimas que participan en la síntesis de las prostaglandinas. El APAP no inhibe las ciclooxigenasas en los tejidos periféricos, razón por la cual carece de actividad antiinflamatoria (Aránguez *et al.*, 1999). No altera la función plaquetaria. El APAP también parece inhibir la síntesis y/o los efectos de varios mediadores químicos que sensibilizan los receptores del dolor a los estímulos mecánicos o químicos. Bloqueando el pirógeno endógeno en el centro hipotalámico regulador de la temperatura inhibiendo la síntesis de las prostaglandinas. El calor es disipado por vasodilatación, aumento del flujo sanguíneo periférico y sudoración. El paracetamol no es teratogénico, pero si existe traspaso a la leche materna y la ingestión neonatal máxima del 2% de la dosis materna (Péry *et al.*, 2013). En la Tabla 1, se muestran los efectos adversos observados en intoxicaciones agudas por APAP.

Tabla 1. Efectos adversos observados en intoxicaciones agudas por APAP

Estadios Intoxicación Aguda	Síntomas	Horas post ingestión	Tiempo de recuperación
I	Los enfermos suelen encontrarse completamente asintomáticos, o aparición de náuseas, vómitos y malestar general.	0-24 horas	1 día
II	El paciente puede seguir asintomático o presentar hepatotoxicidad, hepatomegalia dolorosa e ictericia. La elevación de las transaminasas, signos de disfunción renal (necrosis tubular)	24-48 horas	3-4 días
III	El paciente puede mostrarse asintomático o sufrir un fallo hepático fulminante con encefalopatía y coma, muerte de 3 a 7 días por hemorragia por coagulopatía y fallo multiorgánico.	72-96 horas	5 días
IV	Si el daño generado durante el estadio III no ha sido irreversible, los hepatocitos pueden regenerarse y el paciente sobrevive.	4 días-2 semanas	5-6 días

Fuente: Hodgman & Garrard, 2012.

Estudios de toxicidad por exposición a APAP

APAP sufre un extenso metabolismo hepático. Aproximadamente el 85% de una dosis terapéutica se somete a la fase II de conjugación a metabolitos sulfatados y glucuronizados que se eliminan por vía renal. De estas dos vías, la glucuronidación es predominante en los adultos, mientras que la sulfatación predomina en niños hasta aproximadamente 12 años de edad.

El 10% de APAP se somete a la fase I de oxidación a un intermedio reactivo, (NAPQI), que normalmente está conjugado con glutatión para cisteína y metabolitos mercapturatos no tóxicos. La Citocromo 2E1 es el citocromo P450 primaria (CYP) enzima responsable de esta oxidación a dosis supratrapéuticas de APAP (> 4 g), la sulfatación se satura con incrementos proporcionales en tanto la glucuronidación y más

significativamente, la oxidación de NAPQI. Proporciones más pequeñas de APAP se eliminan sin cambios en la orina y por la oxidación del anillo a un derivado de catecol (Argemi *et al.*, 2005; Mancipe *et al.*, 2010; Hodgman *et al.*, 2012; Hong-Min *et al.*, 2013). Efectos adversos en lesión hepática y formación de aductos en proteínas de ratones: McGill *et al.*, 2013 realizaron

un estudio para medir los efectos tóxicos por exposición a APAP y su efecto hepatotóxico y formación de aductos en proteínas de plasma en ratones; además de la identificación de los end points, los niveles sin efectos observados (NOEL) y los niveles más bajo de efectos adversos observados (LOAEL) que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Estimaciones NOEL y LOAEL para efectos de la exposición a APAP en ratas

End points	NOAEL (mg de APAP)	LOAEL(mg de APAP)
Lesión hepática	75	200
formación de aductos	150	300

mg / kg de peso corporal por día

Fuente: McGill *et al.*, 2013

Para determinar la dosis-respuesta en la lesión hepática en ratones, estos se trataron con dosis de 0, 15, 75, 150, 300, o 600 mg de APAP/kg de peso corporal; produciendo una lesión hepática después de 75 mg/kg y la formación de aductos en proteínas de plasma con dosis de 150 mg/kg de APAP. Los aductos podrían medirse en el plasma después del

tratamiento con la dosis subtóxica 75 mg/kg, y el aumento dependiente de la dosis detectable en el plasma después de una dosis subtóxica (McGill *et al.*, 2013). En las Tablas 3 y 4 se reporta la identificación de otros *end points* en ratones y ratas en estudios *in vivo* e *in vitro*.

Tabla 3. Estimaciones de *end points* de APAP en estudios *in vivo* en ratas y ratones

Estudio	Especie /dosis/tiempo de exposición	End points
Reilly <i>et al.</i> , 2001	Ratón, (300 mg) / 6 h	Estrés oxidativo, apoptosis e inflamación
Ruepp <i>et al.</i> , 2002	Ratón(150, 500 mg) / 15, 30, 60, 120, 240 min	ROS, la apoptosis, Hepatotoxicidad
Heinloth <i>et al.</i> , 2004	Rata, (15, 50, 150, 1500 mg) / 6, 24, 48 h	Estrés oxidativo, producción de ROS
Huang <i>et al.</i> , 2004	Rata, (4.250 mg)/ 0,25, 1, 3 días	Estrés oxidativo, muerte celular
Williams <i>et al.</i> , 2004	Ratón, (151, 529 mg) / 1, 4, 24 h	Señalización, el metabolismo energético
Kikkawa <i>et al.</i> , 2006	Rata (300, 1000 mg) / 6, 24 h	Estrés oxidativo, alteración de la función mitocondrial.
Yamamoto <i>et al.</i> , 2007	Ratones quiméricos-hígado Humanos, 1.400 mg / 4, 24 h	Estrés oxidativo,
Beyer <i>et al.</i> , 2007	Ratón, 300 mg / 6, 12, 24 h	Apoptosis, la respuesta inmune, e inflamación
Sun <i>et al.</i> , 2008	Rata (400, 1600 mg)/ recolección de orina de 8 h hasta 7 días	Estrés oxidativo,, alteración del metabolismo energético
Wang <i>et al.</i> , 2009	Ratón (300 mg) / 24 h	Apoptosis, alteración de la respuesta inmune

Fuente: McGill *et al.*, 2013.

Tabla 4. Estimaciones de end point de APAP en estudios *in vitro* en ratas y ratones

Estudio	sistema de modelo <i>In vitro</i>	end point
Harris <i>et al.</i> , 2004	Hepatocitos humanos primarios <i>in vitro</i> , células HepG2	No evaluado
Kikkawa <i>et al.</i> , 2005	Hepatocitos primarios de rata	Estrés oxidativo, alteración de la función mitocondrial y el metabolismo energético
Elferink <i>et al.</i> , 2008	Rodajas de hígado de rata <i>in vitro</i>	No evaluado
Kienhuis <i>et al.</i> , 2009	Hepatocitos primarios de rata <i>in vitro</i> ; hepatocitos humanos primarios <i>in vitro</i>	Estrés oxidativo, producción de ROS

 Fuente: McGill *et al.*, 2012.

El alcohol y el paracetamol: La interacción entre APAP y etanol es compleja. El etanol es un sustrato competitivo para CYP 2E1, que es enzima microsomal primaria responsable del metabolismo de APAP a NAPQI. En ratas, la administración aguda de etanol es hepatoprotector a una dosis tóxica de APAP. Efecto que también se ha observado en pacientes que presentan una sobredosis aguda APAP dentro de las 24 horas (López & Ferrer, 2005; Altun & Nevin, 2001).

Por el contrario, la administración crónica de etanol a ratas aumenta la toxicidad hepática causada por APAP, tanto con la regulación positiva de CYP 2E1 y el agotamiento de glutatión que probablemente contribuye. Ambos efectos son transitorios y duran menos de 1 día en ratas. En los seres humanos, el aumento máximo en la producción de NAPQI después de inducción aguda con etanol se produce después de las 6 a 8 horas de abstinencia y es de corta duración. Este hallazgo sugiere que puede haber una pequeña ventana de mayor riesgo en pacientes alcohólicos abstinentes recientemente que las sobredosis con APAP. El riesgo de hepatotoxicidad en pacientes alcohólicos y sin alcohol en abstinencia después de una sobredosis de APAP aguda se calcula a los 150 microgramos/ml a las 4 h (37,5 mg/ml a las 12 h) de la línea de riesgo. Esto corresponde un riesgo de 1.6% de hepatotoxicidad por debajo de esta línea para los pacientes no alcohólicos. Por debajo de 150 mg/ml a las 4h de la línea, los

alcohólicos abstinentes tienen un mayor riesgo de hepatotoxicidad (10,7%) (Pollard & Woodley, 2007; Getachew *et al.*, 2010; Bravo *et al.*, 2012).

Efecto toxicológico de APAP en ratas y ratones: Valor de referencia umbral (TRV). Con el fin de estimar un valor de umbral para APAP que se aplicarán en diferentes organismos, el primer paso se recogió una serie de NOAEL y valores de LOAEL de diferentes end points biológicos reportados para los datos de dosis-respuesta en las más reciente publicación de Kienhuis *et al.*, 2011. Estos valores fueron organizados en la tabla 5. Una dosis umbral (TD) para cada mezcla de APAP se calculó a partir NOAEL y LOAEL según el método descrito por Hodgman *et al.*, (2000). El TD se calcula como la media geométrica entre NOAEL y LOAEL reporto porque NOAEL como TD puede ser demasiado baja de cualquier efecto adverso mientras LOAEL puede ser demasiado alto para ser un TD. Valores TD estimaciones se muestran en la Tabla 5. Un valor de referencia umbral (TRV) se obtiene a partir del valor de TD y una incertidumbre y factores de corrección (UF) para extrapolar el efecto tóxico de los animales a los humanos, ver ecuación 1.

$$TRV = TD \text{ (mg / kg - día)}/UF \quad (1)$$

UF puede incluir varios factores de corrección, pero entre especies para evidenciar las diferencias individuales inter e intraespecífica, factores de

incertidumbre que un valor de 10 es asumir para ambos. Por lo tanto, UF sugiere aquí cubre la extrapolación de animales a humanos usando un valor de 10 y la extrapolación de la variabilidad humana en respuesta con valor de 10, como se muestra en la ecuación 2:

$$\text{TRV} = \text{TD} (\text{mg} / \text{kg} - \text{día}) / (10 \times 10) \quad (2)$$

El valor más sensible reportado a partir de datos de dosis-respuesta de los estudios para APAP es de 122.13 mg / kg de peso corporal – día, la línea de riesgo se estimó entre 150 y 200 mg. El punto final de toxicidad se obtuvo en modelo de ratones y ratas para hepatotoxicidad y formación de aductos en proteínas (Kienhuis *et al.*, 2011; Hodgman *et al.*, 2012; Bunchorntavakul *et al.*, 2013), observado en la Tabla 5.

Tabla 5. Criterios de valoración toxicológicos de APAP: End point, NOAEL, LOAEL y TD en diferentes especies

Compuesto	End point	Especies	NOAEL (mg L ⁻¹)	LOAEL (mg L ⁻¹)	Dosis Umbral (TD)	TRV	Estudio
Paracetamol	Inmovilización	V. fischeri	150	300	212.13	2.12	Santos et al., 2010
	Inmovilización	D. magna	170	300	225.83	2.25	La Farré et al., 2008
	Inmovilización	D. magna	140	266	192.97	1.92	Fent et al., 2006
	Hepatotoxicidad	O. latipes	135	250	183.71	1.83	De Laurentiis et al., 2014
	Muerte	O. latipes	145	260	194.16	1.94	Kawabata et al., 2012
	Hepatotoxicidad	V. fischeri	170	300	225.83	2.25	Li et al., 2014
	Lesión hepática	Ratas	75	200	122.47	1.22	McGill et al., 2013
	Formación de aductos	Ratas	150	300	212.13	2.12	McGill et al., 2013
	Muerte	Scenedesmus subspicatus	150	234	187.34	1.87	Yu-Chen et al., 2010
	Inmovilización	D. magna	159	300	218.40	2.18	Yamamoto et al., 2009
	Inhibición del crecimiento	Tetrahymena piriformis	140	290	201.49	2.01	Santos et al., 2010
Hepatotoxicidad	B. rerio (pez cebra)	140					

Fuente: Hodgman *et al.*, 2012.

Las fuentes de contaminación ambiental del paracetamol

La vía reportada para la contaminación ambiental del APAP es a través de su excreción inalterada en la orina y las heces. En la Figura 1 se muestran las posibles entradas de APAP al medio ambiente, en el caso de APAP que tienen una baja volatilidad y la distribución de alta polaridad se hace principalmente por el transporte acuoso (orina, heces, etc) o incluso

a través de la dispersión de la cadena alimentaria; aunque existen otros mecanismos antropogénicos a través de los metabolismo post-consumo, su bioconversión en uno o más metabolitos puede ocurrir por la eliminación de los hogares, hospitales a través de baños y por los Impactos por actividades las EDAR (Román & Alfaro, 2005; Fent *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2014).

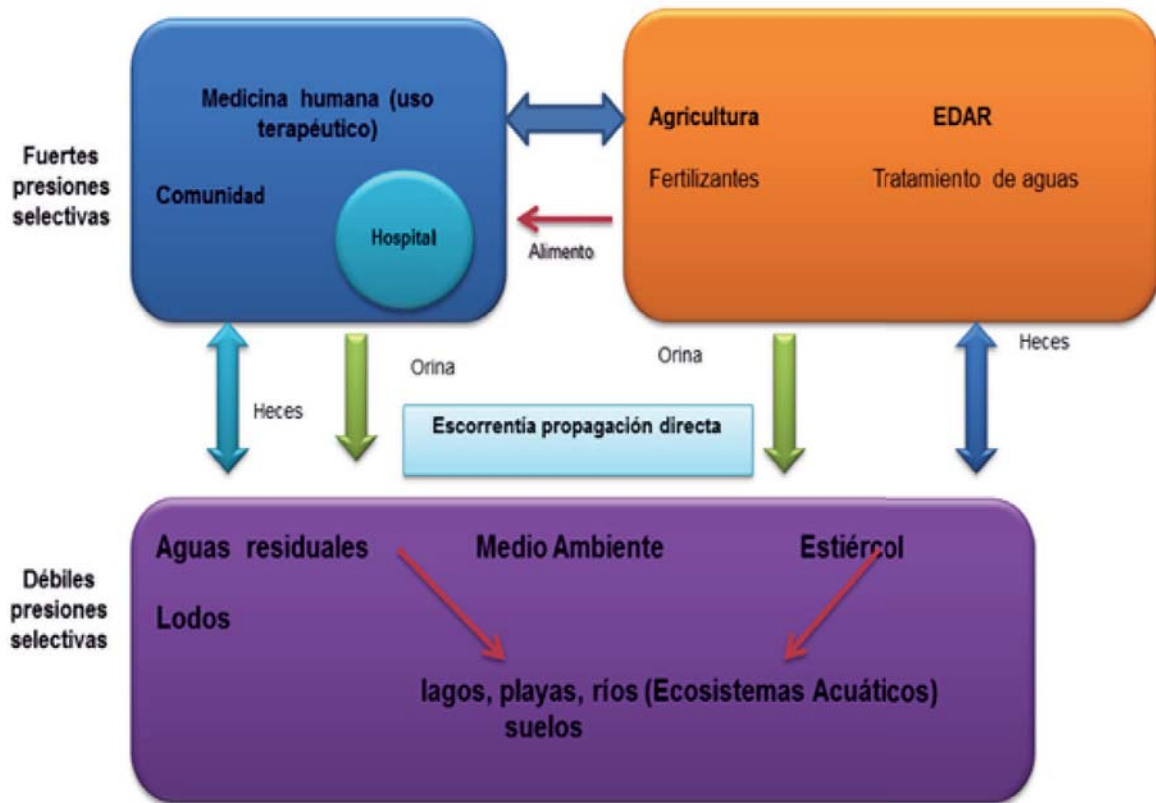


Figura 1. Representación esquemática propuesta del destino ambiental del APAP y metabolitos, en diferentes ecosistemas.

En cuanto a la Ecotoxicología del APAP, se observan efectos crónicos principalmente en organismos acuáticos, a través de la exposición a diferentes concentraciones de APAP durante un prolongado período de tiempo. Estos se miden por medio de los parámetros específicos tales como el índice de crecimiento o tasas de reproducción en los diferentes niveles tróficos -algas, zooplancton y otros invertebrados y peces-, debido a que metabolito (NAPBQ) más persistentes que el APAP (La Farré *et al.*, 2008; Yu-Chen *et al.*, 2010, Jiang *et al.*, 2014).

Técnica analítica recomendada para la cuantificación de paracetamol

En Toxicología en la última década, la cuantificación de las drogas y sus metabolitos ha sido impulsada por el uso de la cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) acoplada a espectrómetro de masas con triple cuádrupolo debido a sus capacidades de alto rendimiento, así como su selectividad

y sensibilidad. El espectrómetro de masas se han utilizado para adquirir datos de forma simultánea análisis combinado cualitativa y cuantitativa de la muestra, pero la interpretación espectros sigue siendo un reto basado sólo en los datos de baja resolución (Fahad *et al.*, 2008).

Los métodos de cuantificación utilizados habitualmente en la toxicología de emergencia a menudo se basan en la detección de los inmunoensayos. Estos son muy utilizados, pero sufren de una falta de selectividad. La reactividad cruzada de los inmunoensayos es difícil de predecir, porque afecta potencialmente resultados y la capacidad de cuantificación y problemas de sensibilidad de los métodos; por eso sea introducido HPLC-MS/MS recientemente para la medición de APAP generando mejor sensibilidad en los resultados para detectar paracetamol. Esta técnica permite la cuantificación de APAP en plasma humano, en líquido cefalorraquídeo (LCR) y en

manchas de sangre seca (DBS); con una precisión del 85-115% y un coeficiente de correlación de 0,98. HPLC-MS/MS. Su aplicación está orientada hacia la separación, la detección general y potencial de la identificación y la cuantificación de paracetamol y sus metabolitos en masas particulares donde hay presencia de otros productos químicos -mezclas complejas- (Tonoli *et al.*, 2012).

La HPLC es capaz de separar macromoléculas y especies iónicas, productos naturales lábiles,

materiales poliméricos y una gran variedad de otros grupos polifuncionales de alto peso molecular. Con una fase móvil líquida interactiva, otro parámetro se encuentra disponible para la selectividad, en adición a una fase estacionaria activa. La HPLC ofrece una mayor variedad de fases estacionarias, lo que permite una mayor gama de estas interacciones selectivas y más posibilidades para la separación. En la Tabla 6 se muestran algunas condiciones cromatográficas recomendadas por investigadores para la cuantificación de paracetamol (Kawabata *et al.*, 2012).

Tabla 6. Algunas condiciones cromatográficas para la cuantificación de paracetamol.

Parámetros HPLC-MS	Estudio 1 de APAP (Barfield <i>et al.</i> , 2008)	Estudio 2 de APAP (Altun <i>et al.</i> , 2010)	Estudio 3 de APAP (Taylor <i>et al.</i> , 2013)
Inyector de HPLC	Inyector automático con horno de columna integrada	Inyector automático con horno de columna integrada	Inyector automático con horno de columna integrada
Columna	C18 200 × 4,6 mm ID	C18, 250 x 4,6 mm ID	C18, 150 x 4,6 mm ID
Flujo	0,25 mL / min	1 mL / min	1 mL/min.
Fase móvil	Ácido fórmico-metanol-agua en la proporción de 120:80:1 v / v, ajustado a pH 4,25	7 partes en volumen de acetonitrilo y 3partes en volumen de agua	Acetonitrilo-Agua (70:30, v:v) (pH 6.3).
Temperatura	(25 ° C) ambiente	(25 ° C) ambiente	(25 ° C) ambiente
Detector MS	Fuente de iones electrospray. Temperatura de la fuente 450 ° C con un flujo de gas de turbo de 7 L / min (n ₂) y un entorno de gas nebulizador de 10 (N ₂).	Fuente de iones electrospray. Temperatura de la fuente 450 ° C	Fuente de iones electrospray. Temperatura de la fuente 450 ° C

Conclusiones

Se puede concluir que, el paracetamol, medicamento de uso frecuente, tiene potenciales efectos tóxicos por lo que debe ser usado cuidadosamente. Las diferentes formas de presentación, ya que se expende como mono-droga en diversas presentaciones -comprimidos, gotas, jarabe-, en dosis que oscilan entre 100 mg y 1 g, pueden ser fuente de confusión y mal uso, por lo que es importante conocerlas. Se observan efectos crónicos

principalmente en organismos acuáticos, a través de la exposición a diferentes concentraciones de APAP durante un prolongado período de tiempo; estos se miden por medio de los parámetros específicos tales como el índice de crecimiento o tasas de reproducción en los diferentes niveles tróficos -algas, zooplancton y otros invertebrados y peces- debido a que metabolitos (NAPBQ) son más persistentes que el APAP.

Literatura citada

1. Acevedo, R.; Severiche, C. & Jaimes, J. (2015). Bacterias resistentes a antibióticos en ecosistemas acuáticos. *Revista Produccion mas Limpia*. 15(2): 160-172.
2. Altun, L. & Nevin, E. (2001). The rapid quantitative analysis of phenprobamate and acetaminophen by RP-LC and compensation technique. *Rev Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 25(1): 85-92.
3. Aránguez, E.; Ordóñez, J.; Serrano, J.; Aragonés, N.; Fernández, R.; Gandarillas, A.; & Galán, I. (1999). Contaminantes atmosféricos y su vigilancia. *Revista Española de Salud Pública*, 73(2): 123-132.
4. Argemi, F.; Cianni, N. & Porta, A. (2005). Disrupción endócrina: perspectivas ambientales y salud pública. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*. 39(3): 291-300.
5. Arnao, A.; Suárez, S.; Trabucco, J. & Cisneros, R. (2012). Efecto hepatoprotector del extracto acuoso de *Smilax sonchifolius* (yacón) en un modelo de intoxicación con acetaminofén. *An. Fac. med.* 73(3): 239-244.
6. Bastos, C. & Oliveira, M. (2009). Quantitative determination of acetaminophen, phenylephrine and carbinoxamine in tablets by high-performance liquid chromatography. *Química Nova*. 32(7): 1951-1955.
7. Bravo, V.; Román, M.; Bettini, M.; Cerda, P.; Mieres, J., Paris, E. & Ríos, J. (2012). Caracterización de la ingestión por sobredosis de paracetamol: Reporte de un centro de información toxicológica chileno. *Revista médica de Chile*. 140(3): 313-318.
8. Chalermrat, B. & Rajender, K. (2013). *Acetaminophen-related Hepatotoxicity*. Clinics in Liver Disease. 17(4): 587-607.
9. Darryl, H.; Cumming, J.; Neale, P.; Bartkow, M. & Escher, B. (2011). A screening level fate model of organic contaminants from advanced water treatment in a potable water supply reservoir. *Rev Water Research*. 45(2): 768-780.
10. De Laurentiis, I.; Carsten, T.; Ternes, M.; Valter, M.; Claudio, M.; Marcello, D. (2014). Assessing the photochemical transformation pathways of acetaminophen relevant to surface waters: Transformation kinetics, intermediates, and modeling. *Rev. Water Research*. 53: 235-248.
11. Emelogu, E.; Pat, P.; Robinson, C.; Webster, L.; McKenzie, C.; Dobson, J.; Bresnan, E.; Moffat, C. (2013). Occurrence and potential combined toxicity of dissolved organic contaminants in the Forth estuary and Firth of Forth, Scotland assessed using passive samplers and an algal toxicity test. *Science of The Total Environment*. *Revisit Water Research*. 461(462): 230-239.
12. Fahad, A.; Edward, B.; Steven, B.; (2008). Estimated risk of hepatotoxicity after an acute acetaminophen overdose in alcoholics. *Revista Alcohol*. 42(3):213-218.
13. Fent, K.; Weston, A.; Caminada, D. (2006). Ecotoxicology of human pharmaceuticals. *Revista Aquatic Toxicology*. 76(2): 122-159.
14. Getachew, Y.; James, L.; Lee, W.; Thiele, D.; Miller, B. (2010). Susceptibility to acetaminophen (APAP) toxicity unexpectedly is decreased during acute viral hepatitis in mice. *Rev Biochemical Pharmacology*. 799: 1363-1371.
15. Hiroshi, Y.; Nakamura, Y.; Moriguchi, S.; Nakamura, Y.; Honda, Y.; Tamura, I.; Hirata, Y.; Hayashi, A.; Sekizawa, Y. (2009). Persistence and partitioning of eight selected pharmaceuticals in the aquatic environment: Laboratory photolysis, biodegradation, and sorption experiments. *Rev Water Research*. 43(2): 351-362.
16. Hodgman, M. & Garrard, A. (2012). A Review of Acetaminophen Poisoning. *Rev Critical Care Clinics*. 28(4): 499-516.
17. Hong-Min, N.; Williams, J.; Hartmut, J. & Wen-Xing, D. (2013). Induction of autophagy and mitochondrial spheroids limits acetaminophen-induced necrosis in the liver. *Rev Redox Biology*. 1(1): 427-432.
18. Iannacone, J. & Alvaríño, L. (2009). Evaluación del riesgo acuático de siete productos farmacéuticos sobre *daphnia magna*. *Revista Ecología Aplicada*. 8(1-2): 71-80.
19. Jaimes, J.; Marrugo, Y. & Severiche, C. (2014). Tóxicos en el ambiente y la seguridad alimentaria. *Revista Cap & Cua*. 6(11): 16-23.
20. Jian, J.; Chon-Lin, L.; Fang, M. (2014). Emerging organic contaminants in coastal waters: Anthropogenic impact, environmental release and ecological risk. *Rev Marine Pollution Bulletin*. 85: 391-399.
21. Kawabata, O.; Sugihara, K.; Sanoh, S.; Kitamura, S. & Ohta, S. (2012). Ultraviolet-photoproduct of acetaminophen: Structure determination and evaluation of ecotoxicological effect. *Rev Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. 249: 29-35.
22. Kienhuis, A.; Bessems, J.; Pennings, J.; Driessen, M.; Mirjam Luijten, van Delft, J.; Peijnenburg, A.; van der Ven, L. (2011). Application of toxicogenomics in hepatic systems toxicology for risk assessment: Acetaminophen as a case study. *Rev Toxicology and Applied Pharmacology*. 250(2): 96-107.
23. Kleywegt, S.; Vince, P.; Paul, Y.; Chunyan, H.; Xiaoming, Z.; Carline, R.; Serei T.; Patrick, Ch.; Brian, W. (2011). Pharmaceuticals, hormones and bisphenol A in untreated source and finished drinking water in Ontario, Canada — Occurrence and treatment efficiency. *Rev Science of The Total Environment*. 409(8): 1481-1488.
24. La Farré, M.; Pérez, S.; Kantiani, L.; Barceló, D. (2008). Fate and toxicity of emerging pollutants, their metabolites and transformation products in the aquatic environment. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 27(11): 991-1007.
25. Larocque, A. & Bailey, B. (2010). Évaluation du risque d'hépatotoxicité après ingestion de paracétamol: où en sommes-nous. *Rev Réanimation*. 19(6): 545-551.
26. Li, J.; Qingfu, Y.; Gan, Y. (2014). Degradation and transformation products of acetaminophen in soil. *Rev Water Research*. 49: 44-52.
27. Loos, R.; Carvalho, R.; António, D.; Comero, S.; Locoro, G.; Tavazzi, S.; Paracchini, B.; Ghiani, M.; Lettieri, T.; Blaha, L.; Jarosova, B.; Voorspoels, S.; Servaes, K.; Haglund, P.; Fick, J.; Lindberg, R.H.; Schwesig, D.; Gawlik, B.M. (2013). EU-wide monitoring survey on

- emerging polar organic contaminants in wastewater treatment plant effluents. *Rev Water Research*. 47(17): 6475-6487.
28. López, M. & Ferrer, A. (2005). Interés de la analítica toxicológica y no toxicológica en la atención del intoxicado. *Revista de Toxicología*, 22(2): 71-72.
 29. Mancipe, L.; Fernández, D.; Fernández, D. (2010). Intoxicación por acetaminofén. *Revista Med*. 18(2): 221-227.
 30. McGill, M.; Lebofsky, M.; Norris, H.K.; Slawson, M.; Bajt, M.; Xie, Y.; Williams, D.; Wilkins, D.G.; Rollins, D.; Jaeschke, H. (2013). Plasma and liver acetaminophen-protein adduct levels in mice after acetaminophen treatment: Dose-response, mechanisms, and clinical implications. *Rev Toxicology and Applied Pharmacology*. 269(3): 240-249.
 31. McGill, M.; Williams, D.; Xie, Y.; Ramachandran, A.; Jaeschke, H. (2012). Acetaminophen-induced liver injury in rats and mice: Comparison of protein adducts, mitochondrial dysfunction, and oxidative stress in the mechanism of toxicity. *Rev Toxicology and Applied Pharmacology*. 264(3): 387-394.
 32. Mohar, I.; Stamper, B.; Rademacher, P.; White, C.; Nelson, S.; Kavanagh, T. (2014). Acetaminophen-induced liver damage in mice is associated with gender-specific adduction of peroxiredoxin-6. *Rev Redox Biology*. 2: 377-387.
 33. Novack, V.; Jotkowitz, A.; Delgado, J.; Novack, L.; Elbaz, G.; Shleyfer, E.; Barski, L.; Porath, A. (2006). General characteristics of hospitalized patients after deliberate self-poisoning and risk factors for intensive care admission. *Rev European Journal of Internal Medicine*. 17(7): 485-489.
 34. Novack, V.; Jotkowitz, A.; Delgado, J.; Shleyfer, E.; Barski, L.; Porath, A. (2005). Deliberate self-poisoning with acetaminophen: A comparison with other medications. *European Journal of Internal Medicine*. 16(8): 585-589.
 35. Péry, A.; Brochot, C.; Zeman, F.; Mombelli, E.; Desmots, S.; Pavan, M.; Fioravanzo, E.; Zaldívar, J. (2013). Prediction of dose-hepatotoxic response in humans based on toxicokinetic/toxicodynamic modeling with or without in vivo data: A case study with acetaminophen. *Toxicology Letters*. 220 (1): 26-34.
 36. Pollard, D. & Woodley J. (2007). Biocatalysis for pharmaceutical intermediates: the future is now. *Rev Trends Biotechnol*. 25: 66-73.
 37. Román, A. & Alfaro, J. (2005). Nuevos disruptores endocrinos: su importancia en la población pediátrica. *Rev Iatreia*. 18(4): 446-45.
 38. Rudolph, A.; Medina, P.; Ahumada, R.; Novoa, V. (2011). Calidad ecotoxicológica de los sedimentos en fiordos del sur de Chile. *Revista de biología marina y oceanografía*. 46(1): 79-84.
 39. Santos, L.; Araújo, A.; Fachini, A.; Pena, A.; Delerue-Matos, C. & Montenegro, M. (2010). Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Rev Journal of Hazardous Materials*. 175 (1-3): 45-95.
 40. Scialli, A.; Ang, R.; Breitmeyer, J.; Royal, M. (2010). A review of the literature on the effects of acetaminophen on pregnancy outcome. *Rev Reproductive Toxicology*. 30(4): 495-507.
 41. Segura, P.; MacLeod, S.; Lemoine, P.; Sauvé, S.; Gagnon, C. (2011). Quantification of carbamazepine and atrazine and screening of suspect organic contaminants in surface and drinking waters. *Rev Chemosphere*. 84(8):1085-1094.
 42. Söderström, H.; Lindberg, R.; Fick, J. (2009). Strategies for monitoring the emerging polar organic contaminants in water with emphasis on integrative passive sampling. *Journal of Chromatography A*. 1216(3): 623-630.
 43. Tonoli, D.; Varesio, E. & Hopfgartner, G. (2012). Quantification of acetaminophen and two of its metabolites in human plasma by ultra-high performance liquid chromatography-low and high resolution tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B*. 904: 42-50.
 44. Torreblanca, A. & López, J. (2005). Proteómica: conceptos, desarrollo actual y aplicación en monitorización ambiental. *Revista de Toxicología*, 22(2): 72-73.
 45. Valdivia, M. (2011). Gastritis y gastropatías. *Rev gastroenterol. Perú*. 31(1): 38-48.
 46. Vargas, E. & Ruiz, L. (2007). Química Verde en el siglo XXI: Química Verde, Una Química Limpia. *Revista Cubana de Química*. 14: 29-32.
 47. Wu, J.; Wang, X.; Ying, F.; Hu, G.; Wang, X.; Li, D.; Yu, D.; Xiaodong Han. 2011. In vitro assessment of reproductive toxicity on rats induced by organic contaminants of source water. *Rev Ecotoxicology and Environmental Safety*. 74(6): 1756-1764.
 48. Yan, Z.; Yang, X.; Lu, G.; Liu, J.; Xie, Z.; Wu, D. (2014). Potential environmental implications of emerging organic contaminants in Taihu Lake, China: Comparison of two ecotoxicological assessment approaches. *Rev Science of The Total Environment*. 470 (471): 171-179.
 49. Yangali-Quintanilla, V.; Kyu Maeng, S.; Takahiro F.; Kennedy, M.; Gary, A. (2010). Proposing nanofiltration as acceptable barrier for organic contaminants in water reuse. *Journal of Membrane Science*. 362(1-2): 334-345.
 50. Yu-Chen Lin, A.; Chih-Ann, L.; Hsin-Hsin Tung, N.; Chary, S. (2010). Potential for biodegradation and sorption of acetaminophen, caffeine, propranolol and acebutolol in lab-scale aqueous environments. *Journal of Hazardous Materials*. 183(1-3) 242-250.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: octubre 11 de 2016

Aceptado: octubre 28 de 2016

Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación

Contamination of soil and water by hydrocarbons in Colombia. Analysis of phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery

Solo e água contaminação por hidrocarbonetos em Colômbia. Análise de fitorremediação como estratégia de recuperação de biotecnologia

Johana Andrea Velásquez Arias

Licenciada en Biología y Educación Ambiental, Especialista en Biotecnología Agraria, Magister en Restauración de Ecosistemas

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Yopal, Casanare, Colombia.

javelasqueza@uqvirtual.edu.co

Resumen

A nivel mundial, los problemas de contaminación tanto en suelos como en agua y aire se deben principalmente a acciones antropogénicas; entre las que cabe destacar la extracción de recursos naturales, en este caso en particular de hidrocarburos. El impacto ambiental que se genera en Colombia debido a esta situación incluye la contaminación de fuentes hídricas, fauna y flora deterioradas o cambios drásticos en el paisaje. Por ello, las entidades gubernamentales como el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Agencia Nacional de Licencias Ambientales ANLA, han desarrollado diversas estrategias de control con el fin de reducir el impacto en el medio ambiente. El objetivo del presente

artículo es elaborar una síntesis con información sobre la contaminación de suelos y agua por hidrocarburos y evaluar la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. Se encontró que la principal fuente de contaminación en suelos y agua se debe principalmente a derrames accidentales durante la exploración, extracción, transporte de hidrocarburos; en lo referente a la recuperación, en los últimos tiempos, ha surgido la fitorremediación como técnica eficaz para disminuir el daño ambiental además de ser estéticamente agradable.

Palabras claves: hidrocarburos, derrames, fitorremediación, contaminación, suelos, agua.

Abstract

At the global level, the problems of pollution in both soils and water and air are mainly due to anthropogenic activities; which include the extraction of natural resources, in this particular case of hydrocarbons. The environmental impact that is generated in Colombia due to this situation include the contamination of water sources, **fauna and flora dete-riodadas** or drastic changes in the landscape. Therefore, government entities such as the Ministry of Environment and Sustainable Development and the National Agency for Licenses Environmental ANLA, have developed various strategies of control in order to reduce the impact on the environment. **The objective of this article** is to elaborate a synthesis with information about soil and water pollution by hydrocarbons and evaluate phytoremediation as a biotechnology strategy for recovery. It was found that the main source of pollution in soil and water is mainly due to accidental spills during the exploration, extraction, transportation of hydrocarbons; with regard to the recovery, in recent times, there has arisen a phytoremediation as an effective technique to reduce environmental damage in addition to be aesthetically pleasing.

Key-words: hydrocarbons, spills, phytoremediation, pollution, soil, water

Resumo

No mundo, problemas de contaminação tanto no solo quanto na água e ar, devem-se principalmente a ações antropogénicas entre elas, a exploração de recursos naturais, particularmente hidrocarbonetos. O impacto ambiental gerado na Colômbia por esta situação abrange a contaminação de fontes hídricas e fauna e flora em detrimento à mudanças radicais na paisagem. É por isso que agências do governo como o Ministério de meio ambiente e desenvolvimento sustentável e a agência nacional de licenças ambientais (ANLA), tem desenvolvido diferentes estratégias do controle com a finalidade de reduzir o impacto no meio ambiente. O objetivo do presente artigo foi fazer uma revisão com informações sobre a contaminação de solos e água por hidrocarbonetos e avaliar a fitorremediação como estratégia biotecnológica de recuperação. Foi observado que a principal fonte de contaminação no solo e água deve-se principalmente a derrames acidentais na exploração, extração e transporte dos hidrocarbonetos. Relacionado à recuperação, no últimos anos tem começado a ser usada a fitorremediação como técnica eficaz para diminuir o deterioro ambiental além de ser esteticamente agradável.

Palavras-chave: hidrocarbonetos, derrames, fitorremediação, contaminação, solos, água.

Introducción

Los hidrocarburos son combustibles fósiles ampliamente utilizados alrededor del mundo como generadores fundamentales de diversas formas de energía, ellos están en la naturaleza gracias a la acumulación de biomasa durante millones de años. Sin embargo, es posible que en su extracción se genere contaminación en agua y suelos debido a constantes derrames accidentales, los cuales son muy comunes en países productores.

El sector de hidrocarburos se ha expandido de manera importante en los últimos años, convirtiéndose en pieza clave del crecimiento de la economía mundial, el consumo de energía, la exploración, las

reservas y la producción han aumentado de manera considerable y este es actualmente considerado como motor del crecimiento económico en varios países del mundo (Castro *et al.*, 2014). Debido al crecimiento que han tenido los hidrocarburos, la contaminación por estos ha sido de igual forma, significativa. Los hidrocarburos impiden el intercambio gaseoso con la atmósfera, iniciando una serie de procesos físico-químicos simultáneos, como evaporación y penetración, que dependiendo del tipo de hidrocarburo, temperatura, humedad, textura del suelo y cantidad vertida pueden ser procesos más o menos lentos lo que ocasiona una mayor toxicidad (Benavides *et al.*, 2006); generando de esta manera

graves consecuencias ambientales tanto en la flora como en la fauna. Díaz-Martínez *et al.* (2013) reportan que dichas sustancias tienden a acumularse y a formar una capa hidrofóbica, induciendo la fragmentación de los agregados, causando reducción, inhibición de la cobertura vegetal y la modificación **las** poblaciones microbianas del ambiente edáfico.

En Colombia como en muchos otros países existen políticas desarrolladas por entes gubernamentales encargados de conservar y restaurar el medio ambiente deteriorado a causa de los diversos tipos de actividades humanas que ha afectado de forma **directa** o indirecta a la naturaleza. El Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales ANLA, son los encargados de vigilar de cerca, el desarrollo de las actividades de extracción de hidrocarburos en Colombia. Así, como controlar y exigir las medidas adecuadas para que dicho proceso deteriore lo menos posible el territorio nacional. La fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación ofrece la ventaja de usar procesos naturales para la degradación del hidrocarburos en diferentes ambientes -agua y **suelos**; así como también permite la asociación con técnicas que empleen microorganismos o enzimas de manera estratégica con el fin de restaurar la calidad ambiental. En este caso en particular, el uso de plantas en procesos de fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos contribuyen a transformar, acumular o inmovilizar sustancias tóxicas. Esta técnica biológica aumenta la tasa de transpiración, mejora el flujo de agua en el perfil del suelo y por tanto favorece la aireación dentro del suelo (Maldonado *et al.*, 2010), además de ser estéticamente agradable. Por lo anterior se hace indispensable desde el punto de vista académico realizar búsquedas bibliográficas en torno a la contaminación de suelo y agua y a las estrategias biológicas más adecuadas para su recuperación.

El objetivo del presente **artículo** es elaborar una síntesis con información sobre la contaminación de suelos y agua por hidrocarburos y evaluar la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. De igual forma, determinar factores que influyen en la contaminación de aguas y suelos y

finalmente, enumerar las ventajas y desventajas de la fitorremediación como estrategia biotecnológica para recuperar aguas y suelos contaminados por hidrocarburos. Para ello, se realizó una búsqueda bibliográfica de los últimos 15 años a nivel mundial en fuentes científicas como *Web of Science*, *Scopus*, *Science Direct* y *SciELO* utilizando palabras claves en inglés: *hydrocarbons*, *spills*, *phytoremediation*, *water pollution*, *soil pollution*. Teniendo en cuenta que toda la información estuviera relacionada al conocimiento en ciencias ambientales y biológicas. Una vez recopilado el material bibliográfico, se realizó una selección cualitativa de la información teniendo en cuenta, su actualidad y la problemática tratada. Se conservó la linealidad, pertinencia y coherencia de la misma. Con base en dicha investigación se pretende aportar información para el desarrollo de futuros estudios.

1. Acerca de los hidrocarburos

Conocidos como sustancias naturales originadas a partir de algas acuáticas establecidas durante millones de años, gracias a la materia orgánica formada en la superficie de la tierra, proceso iniciado con la fotosíntesis, la cual hace parte del ciclo del carbono; y a través del tiempo geológico este aporte ha producido grandes cantidades de materia fósil (Yavari *et al.*, 2015). Dichas sustancias están conformadas principalmente de compuestos con diferente solubilidad, volatilidad, y debido a que son formadas únicamente por átomos de carbono e hidrógeno son compuestos orgánicos susceptibles para ser biodegradados, ya sea eliminados o transformados en sustancias menos tóxicas tanto en suelos como en cuerpos de agua contaminadas, permitiendo de este modo el análisis de estudios con el fin de diseñar estrategias fitorremediadoras para contribuir con su degradación y por ende con la descontaminación de los suelos y agua.

2. Contaminación por hidrocarburos en Colombia y en el Mundo

Durante las operaciones de explotación, extracción y transporte los materiales pueden contaminar el medio ambiente circundante a través de filtraciones accidentales o deliberadas. De esta manera, durante la últimas décadas los hidrocarburos han dado

lugar a una amplia liberación de contaminantes en el medio ambiente. Adams *et al.* (2008) reportan la afectación que los hidrocarburos generan a la fertilidad a través de mecanismos como la toxicidad directa en los organismos en el suelo, reducción en la retención de humedad y/o nutrientes, compactación, cambios en pH y salinidad. La toxicidad de los hidrocarburos de petróleo, tanto alifático como aromático, es variable pero, en general, aquellos de menor peso molecular son más tóxicos.

Un informe reciente estima un total de 2,5 millones de lugares potencialmente contaminados en Europa (Agnello *et al.*, 2016). En México Maldonado *et al.* (2010) reportan como la industria petrolera es una fuente importante de contaminación del suelo, las actividades de perforación, extracción, conducción y transformación del petróleo en zonas petroleras han originado la contaminación del suelo y el agua ocasionada por derrames, fugas, filtraciones, lodos y recortes de perforación desde hace más de 40 años. En lo referente a Colombia, el sector petrolero ha tenido una importante creciente en la economía del país en los últimos años; este sector es estratégico para la economía por su alta participación en el producto interno bruto (Ñustez, 2012). Sin embargo la contaminación por este tipo de sustancia es cada vez mayor, afectado la flora, fauna e incluso la salud de los seres humanos. Es importante que las personas conozcan qué está pasando, qué servicios ecosistémicos y por ende qué procesos son los que se ven afectados; no solo los entes gubernamentales o comunidad científica.

3. Derrames y Problemática Ambiental

El desarrollo de la población lleva consigo el consumo de recursos naturales renovables y no renovables, siendo el suelo el más afectado. Este, es el componente primordial para la conservación del ser humano en el planeta tierra; además de ser un recurso no renovable a escala humana. De él se obtienen alimentos, insumos para la industria y recursos energéticos. Los derrames de hidrocarburos son comunes durante los procesos de producción de crudo, así como también durante su comercialización, transporte y almacenamiento en sitios de acopio y distribución como se ha mencionado en

reiteradas ocasiones. Los derrames accidentales a gran escala presentan un volumen significativo de contaminantes en todo el mundo. Lastimosamente, son varios los ejemplos que se pueden citar, entre estos está el derrame del Exxon Valdez en Alaska en 1989 y el derrame de BP Deepwater Horizon en el Golfo de México en 2010 catalogados como los dos peores desastres ambientales en la historia de los Estados Unidos que aún están afectando algunos de los ecosistemas marinos más productivos y vulnerables (Spier *et al.*, 2013). Sin embargo, este tipo de contaminación relacionada con sustancias derivadas del petróleo no tiene origen exclusivo en las actividades petroleras; la literatura permite conocer que existe un aporte masivo y continuo que proviene de labores diversas, tales como: la pesca; el transporte marítimo y de cabotaje; las operaciones de limpieza de buques y los expendios de combustible a embarcaciones pequeñas, cuyo suministro se realiza a través de mangueras, sin llave de cierre al final; el vertimiento de los residuos del cambio de aceite, las latas de lubricante en lanchas, y el descargue de sentinas de los buques pequeños caen directamente al agua (Jiménez, 2006).

De esta manera, se puede afirmar que no solo los grandes y reconocidos derrames mundiales son los que causan mayores daños ambientales; puesto que, día a día son innumerables las situaciones como las mencionadas por Jiménez (2006) las que se presentan sin ser catalogadas como desastres ambientales, pero que sí son acumulativas con el paso del tiempo y poco a poco generarán graves impactos. El aceite por ejemplo, al ser un derivado del petróleo puede causar daños al medio ambiente a través de varios mecanismos, incluyendo la toxicidad asociada con la ingestión o absorción a través de las estructuras de la piel o respiratorias de la biota; revestimiento o asfixia, que afecta el intercambio de gases, regulación de la temperatura y el agotamiento del oxígeno por procesos microbianos asociados con la degradación del aceite (Mendelssohn *et al.*, 2012).

En el caso de los derrames en Colombia, estos se han presentado por diversas circunstancias entre las que cabe destacar: voluntaria, accidental o por atentados de grupos al margen de la ley. En algunas

circunstancias, dichas situaciones se han generado en sectores del país de difícil acceso impidiendo el desarrollo de estrategias de vigilancia y control o en el caso dado, de recuperación. La Figura 1 muestra algunos derrames causados por grupos al margen de la ley en 2015. Este tipo de situación causan una alteración en la calidad del paisaje y en los servicios ecosistémicos -provisión, regulación, soporte y culturales-, que proporcionan los ecosistemas para el normal desarrollo de la vida de los seres humanos.



Figura 1. Atentados por grupos al margen de la ley en 2015 que han generado derrames de petróleo.

Fuente: grupo de energía de Bogotá

Durante las últimas décadas la población en general ha manifestado una mayor preocupación por las problemáticas ambientales tanto a nivel nacional como internacional, permitiendo de este modo el desarrollo de seguimiento políticas estrictas al momento de extraer recursos de la naturaleza. Día a día hay más conciencia por parte de las personas para recuperar lo deteriorado y conservar lo que aún queda. Por otro lado, debido a la amplia gama de productos derivados del petróleo no ha sido posible evaluar cuantitativamente la contaminación involucrada desde la fase de explotación hasta su obtención, sin embargo, se estima que hasta el

2006 las áreas afectadas han sido de 6000 ha de terrenos con potencial agrícola y pecuario, 2600 km de ríos y quebradas y 1600 ha de ciénagas y humedales (Benavides *et al.*, 2006). Es necesario enfatizar que la problemática no es solo ambiental, puesto que la contaminación de la naturaleza ya sea en suelos o aguas conlleva a generar grandes impactos económicos en la sociedad en donde las actividades como la pesca, consumo de agua, o el cultivo de especies primordiales son las primeras afectadas, desencadenando un impacto social considerable, en donde la población directa o indirectamente se ve afectada.

En Colombia hasta noviembre de 1998 se presentaron 920 ataques contra la infraestructura petrolera, 575 de ellos en el oleoducto Caño Limón-Coveñas, que mediante roturas y abolladuras han perjudicado ecosistemas, fuentes de producción y abastecimiento de las comunidades aledañas al oleoducto. Las áreas perjudicadas por los derrames de petróleo se ubican principalmente en la zona alta de la llanura araucana, en la región de la cuenca del río Catatumbo, en la llanura del valle medio y medio bajo del río Magdalena; departamentos de Santander, Cesar y Sucre, principalmente, y en los departamentos del Putumayo y Nariño (Benavides *et al.*, 2006).

4. Contaminación por hidrocarburos en suelos y aguas

Los derivados de hidrocarburos -gasolina, queroseno, aceites, combustibles, parafinas, y el asfalto, entre muchos otros- no solo impactan la capa superficial del suelo, también corren el riesgo de ser movilizados hasta aguas subterráneas generando así su contaminación, o incluso pueden ser transportados por escorrentía incrementado aún más el daño ambiental. Dicha contaminación afecta las condiciones fisicoquímicas de agua al presentarse una disminución de oxígeno disuelto debido a la reducción de la transferencia de oxígeno entre la fase atmósfera – agua, al igual que la entrada de luz al medio, lo que inhibe el crecimiento de ciertas especies y disminuye la fijación de nutrientes (Jiménez. 2006). Uno de los efectos adicionales tanto en agua como suelos es que el petróleo consume oxígeno, aumenta la demanda bioquímica del agua y puede generar condiciones anóxicas

4.1. Agua

Los cuerpos de agua como lagos, ríos y humedales ofrecen una variedad de recursos y comunidades acuáticas que pueden ser amenazadas por derrames de hidrocarburos. Los hidrocarburos tienden a flotar debido a la diferencia de densidad que presentan con respecto al agua, bloqueando de esta manera la penetración de la luz y el intercambio de gases. Adams *et al.* (2008) reportan que dicho bloqueo favorece la solubilización de materiales que afectan a las distintas poblaciones como el plancton o los microinvertebrados que viven en el fondo de ríos y pantanos. Mendelssohn *et al.* (2012) de igual forma, reportan que la mayor parte de los componentes tóxicos y volátiles son eliminados por evaporación, mientras, otros se oxidan por la radiación UV en la luz del sol, todo esto depende del peso molecular, debido a que, algunos compuestos tóxicos de los hidrocarburos pueden disolverse en el agua y degradarse mientras otros presentan la capacidad de depositarse en los sedimentos. Cualquiera que sea la respuesta o acción de dichas sustancias la fauna y flora del lugar es la primera y directamente afectada.

De esta manera, González *et al.* (2011) han reportado efectos letales y subletales de hidrocarburos del petróleo en los peces. También, Chan *et al.* (2012) han notificado los efectos negativos de la contaminación del aceite de crustáceos, tortugas y algunas especies de vertebrados costeros como patos marinos y nutrias. Estas situaciones son conocidas por todas las personas que tienen acceso a los medios de comunicación; puesto que, es común ver en las noticias o en las redes sociales información en donde los animales y las plantas son las víctimas inocentes de las actividades humanas.

4.2. Suelo

El tipo de suelo -arena, limo y arcilla- y la cantidad de materia orgánica existente determinan el destino de los hidrocarburos del petróleo y la extensión del daño a las plantas (Yu *et al.* 2013). Serrano *et al.* (2013) reportan que “la contaminación por hidrocarburos de petróleo ejerce efectos adversos sobre las plantas indirectamente, generando minerales tóxicos en el suelo disponible para

ser absorbidos, además, conduce a un deterioro de la estructura del suelo; pérdida del contenido de materia orgánica; y pérdida de nutrientes minerales del suelo, tales como potasio, sodio, sulfato, fosfato, y nitrato” de igual forma, el suelo se expone a la lixiviación y erosión. La presencia de estos contaminantes, ha dado lugar a la pérdida de la fertilidad del suelo, bajo rendimiento de cosechas, y posibles consecuencias perjudiciales para los seres humanos y el ecosistema entero. En Colombia existe una gran diversidad de unidades de suelo, formados a través del tiempo como producto de la acción de diferentes factores como: el relieve, el clima, el material parental, la vegetación, los microorganismos y el hombre. La determinación de dichas unidades resulta muy compleja y el criterio de agrupación lo constituyen el paisaje geomorfológico y el clima (Jiménez. 2006), por ello, cada situación de derrame es única. Cada lugar afectado tiene su particularidad, temperatura, pH, humedad, tipo de suelo; y por lo cual no existe una receta universal que nos permita llevar a cabo las mismas actuaciones para todos los casos de derrames que se presentan.

Ante la presencia de aceite, por ejemplo, un suelo arenoso saturado por este tipo de derrame tiende a perder parámetros como la permeabilidad o la compactación, puede llegar a sufrir variaciones cuyos comportamientos están asociados a la saturación del aceite en el medio (Serrano *et al.* 2013). Además, Shin & Das (2001) encontraron que suelos arenosos con concentraciones de aceites superiores hasta del 6% pueden reducir drásticamente la capacidad de carga de los suelos. Por otro lado, es importante mencionar una situación particular de derrames, las cuales no son evidenciadas en Colombia, Petro & Mercado (2014) reportan tuberías corroídas, las cuales en algunos casos cuentan con alrededor de 50 años de antigüedad y sus condiciones actuales no son óptimas generando de esta manera un derrame silencioso pero acumulativo.

5. Derrames históricos en Colombia

Cabe reiterar que los impactos ambientales generados por derrames de hidrocarburos son prácticamente incalculables debido a sus grandes

dimensiones. Sólo en Colombia los derrames de petróleo superan 11 veces a la tragedia del buque petrolero Exxon Valdez en Alaska en 1998, considerado uno de los mayores incidentes de contaminación de petróleo en el mundo derramando más de 11 millones de galones al mar; o en el golfo de México en 2010 en donde se vertieron más de 13 millones de galones en el océano Atlántico. En Colombia estas cantidades son superadas, sin tener en cuenta que para que un ecosistema se recupere requiere de cientos de años, dicha situación ha causado un gran impacto ambiental debido a la muerte de especies claves como los productores primarios. Sin embargo, con el paso del tiempo las áreas afectadas se han recuperando, como cuando son pequeñas fugas de petróleo por ejemplo, la propia naturaleza con la ayuda de los microorganismos los degrada. Por otro lado, Colombia, por su posición geográfica, amplio número de vertientes, gran cantidad de ríos, variedad de lagos, zonas marinas y continentales, es un potencialmente vulnerable a eventos de origen natural y antrópico probabilidad de ser afectada por contaminación proveniente de derrames (Moreno, 2006).

En el año 2015, en Tumaco, Nariño, un ataque de un grupo subversivo contra el oleoducto Trasandino vertió cerca de 4.000 barriles de crudo. Dicha catástrofe inició en la quebrada El Aguacate hasta el río Caunapí, y después avanzó al río Rosario, que desemboca en el océano Pacífico, contaminando todo a su paso. De igual forma, en el mismo año, esta vez en Puerto Asís, Putumayo, un derrame de cerca de 130.000 galones de crudo afectó suelos y aguas. Se analizó como el impacto inmediato fue la contaminación del agua, la cual se vuelve imponible para el consumo, afectación en la biota acuática, como peces de consumo animal y humano; plantas y los insectos que crecen en el agua, sobre todo en la fase larval. En Colombia se presentan año tras año derrames accidentales o provocados que afectan de forma directa a los ecosistemas terrestres y acuáticos. Así mismo, Colombia es uno de los pocos sitios en el mundo

en donde se realizan sabotajes a la infraestructura petrolera con fines políticos y terroristas. Para dar un ejemplo, solamente en el Oleoducto Caño Limón Coveñas, en cerca de 19 años de operación han ocurrido más de mil ataques, que han provocado el derrame de más de 3 millones de barriles de petróleo crudo que han ido a parar a cuencas y ecosistemas tropicales.

6. La fitorremediación y su papel en la recuperación de ambientes contaminados con hidrocarburos

Como alternativa de recuperar de suelos contaminados con hidrocarburos se ha establecido la utilización de elementos biológicos que contribuyen a la oxidación, degradación, transformación y completa mineralización de estos contaminantes (Ferrera-Cerrato *et al.*, 2006). La fitorremediación como técnica biológica permite llevar a cabo la descontaminación de suelos o la depuración de aguas residuales, debido a la capacidad restauradora de algunas plantas. Dicha técnica engloba un conjunto de métodos encargados de degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar contaminantes; mediante tratamientos *in situ* (Mahar *et al.* 2016). De igual forma, la fitorremediación se basa en los procesos que ocurren naturalmente por los cuales las plantas y los microorganismos rizosféricos degradan y secuestran contaminantes orgánicos e inorgánicos (Lin & Kunli, 2016) (Figura 2). Las plantas también ayudan a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas. En la Tabla 1 se reportan diversos métodos fitorremediadores que se aplican para recuperar áreas -acuáticas o terrestres-, contaminadas. En lo referente a la recuperación de suelos Mahar *et al.* (2016), reportan las técnicas de fitoextracción y fitoestabilización como métodos alternativos prometedores para la recuperación de suelos. Mientras Almeida *et al.* (2015) sugieren el potencial de por *Canavalia ensiformis* como fitoestabilizadora del cobre en suelos arenosos. En general, son varias las opciones que ofrecen las plantas a la hora de recuperar suelos o aguas contaminadas.

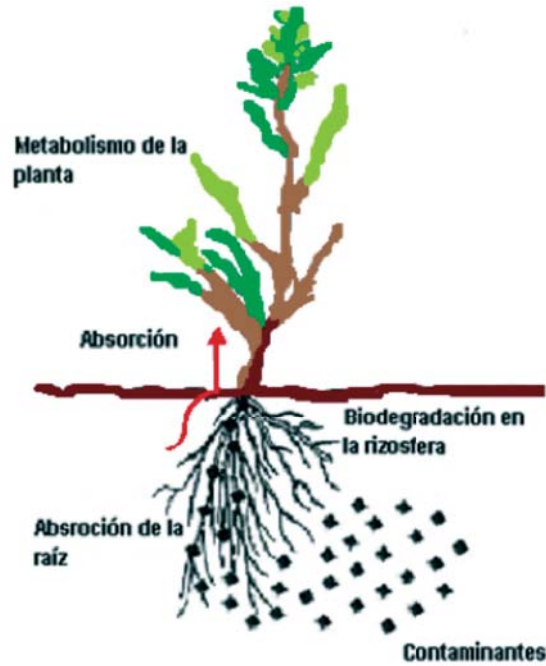


Figura 2. Mecanismos de eliminación de contaminantes por la planta.

Tabla 1. Descripción de métodos fitorremediadores.

Método	Descripción	Referencia
Fitoextracción	Las plantas se cosechan para su posterior incineración, debido a que su uso puede ser peligroso. Este mecanismo incluye tanto contaminantes orgánicos como inorgánicos que no cuentan con la capacidad de transformarse en sustancias no tóxicas	Ramírez-Perez <i>et al.</i> (2015); Arias <i>et al.</i> (2016); Salamanca <i>et al.</i> (2013)
Fitovolatilización	Se produce a medida que las plantas en crecimiento absorben agua junto con diversos tipos de contaminantes, algunos de estos pueden llegar a las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera	Salamanca <i>et al.</i> (2013); Harvey <i>et al.</i> (2002)
Fitodegradación	Se encarga de transformar un contaminante en uno menos “perjudicial” para el medio ambiente, lo cual solo se puede presentar con contaminantes orgánicos.	Wiszniewska <i>et al.</i> (2016); Arias <i>et al.</i> (2016); Salamanca <i>et al.</i> (2013)
Fitoimmobilización	Provoca la sujeción y reducción de la biodisponibilidad de contaminantes mediante la producción de compuestos químicos en la interfaz-suelo-raíz los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de adsorción o precipitación	Delgadillo- López <i>et al.</i> (2011); Bernal. (2007); Salamanca <i>et al.</i> (2013)
Fitoestabilización	Se inmovilizan los contaminantes del suelo o el agua por medio de adsorción, precipitación y acumulación de sustancias en las raíces de las plantas. De igual forma este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire	Salamanca <i>et al.</i> (2013); Delgadillo <i>et al.</i> (2011). Mahar <i>et al.</i> (2016)

El crecimiento de las plantas altera las propiedades del suelo, lo que puede facilitar la remediación de compuestos tanto orgánicos como inorgánicos, de esta manera tanto los hidrocarburos como los metales pueden ser captados por las plantas, evitando la extensión el daño en los ecosistemas; sin embargo, la literatura muestra que las investigaciones en fitorremediación se han centrado en la recuperación

de sitios contaminados por metales por encima de los hidrocarburos (Figura 3), de esta manera, se puede formular la hipótesis de que existe una mayor preocupación por parte de la ciencia por la eliminación de metales de los ecosistemas, por encima de los hidrocarburos, esto puede ser debido a que sus efectos pueden llegar a ser más perjudiciales por tratarse de compuestos inorgánicos.

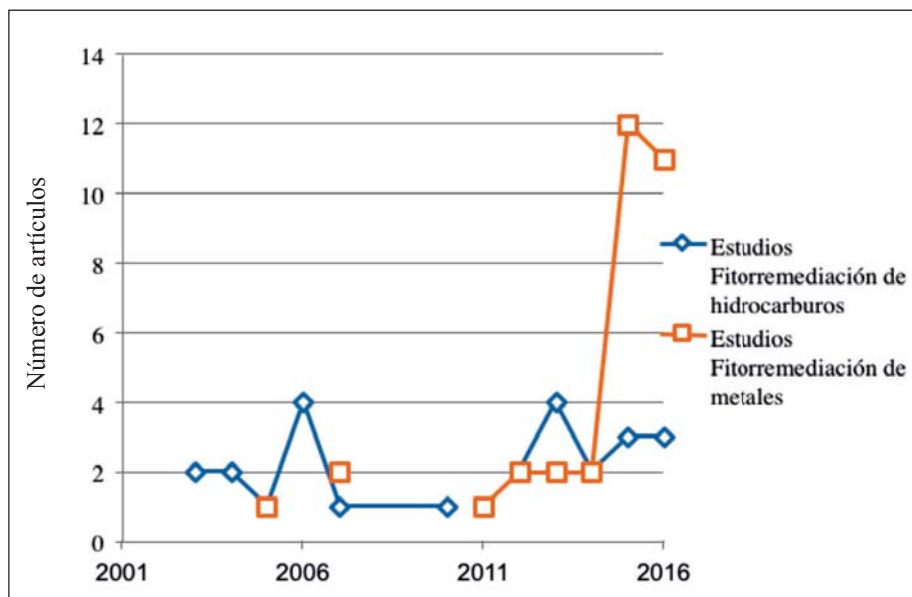


Figura 3. Estudios realizados sobre fitorremediación como estrategia biotecnológica para recuperar ambientes contaminados con hidrocarburos (naranja) y ambientes contaminados con metales (azul) entre 2003 – 2016

Gerhardt *et al.* (2017) reportan que el éxito de la fitorremediación depende, ante todo, de la selección juiciosa de las especies de plantas, su capacidad de sobrevivir, el clima en la región geográfica en un sitio dado es un requisito absoluto; además es necesario que las plantas elegidas para la fitorremediación también tengan tolerancia a concentraciones relevantes del contaminante que se está remediando, capacidad para crecer en suelos pobres, crecimiento rápido y alto La producción de biomasa y raíces profundas y densas.

6.2. Fitorremediación de suelos

Balderas-León & Sánchez-Yáñez. 2015 integran la bioestimulación –biorremediación–, y la fitorremediación, por medio de las bacterias *Bacillus cereus* promotoras del crecimiento vegetal y la planta *Sorghum vulgare*. En esta situación la integración de ambas técnicas promueven el crecimiento, desarrollo y efectividad de las plantas durante la absorción de contaminantes (Tabla 2). Las especies más usadas en los estudios mencionados se caracterizan por ser gramíneas.

Tabla 2. Especies usadas en fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos

Especies de plantas	Autores	Observaciones
<i>Sorghum vulgare</i>	Balderas-León & Sánchez-Yáñez. 2015	Integración de la bioestimulación (biorremediación) y la fitorremediación
<i>Festuca arundinacea</i>	Siciliano <i>et al.</i> 2003	Los resultados demostraron que los sistemas de fitorremediación aumentan el potencial catabólico de suelo de la rizosfera mediante la alteración de la composición funcional de la comunidad microbiana
<i>Festuca arundinacea</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Elymus canadensis</i>	Huang <i>et al.</i> 2004	<i>Festuca arundinacea</i> , es la más adecuada para ser usada en fitorremediación, ya que esta especie fue capaz de aumentar o mantener el contenido de agua en tejido fotosintético, aumentar el crecimiento de raíces y su desarrollo, mediante el transporte de material fotosintético a las raíces durante condiciones de estrés
<i>Ludwigia octovalvis</i>	Almansoory <i>et al.</i> 2015	La inclusión de varios aditivos con <i>L. octovalvis</i> demostró que el uso de un biotensioactivo a una concentración de 10% es eficaz
<i>Festuca arundinacea</i> L.	Hou <i>et al.</i> 2015	Degradación de petróleo durante rhizoremediation
<i>Brachiaria mutica</i> , <i>Leucaena leucocephala</i>	Maldonado <i>et al.</i> 2010	La interacción de rizósfera, consorcio microbiano y el fertilizante originaron efectos positivos significativos, promoviendo la degradación de los hidrocarburos
<i>Clitoria ternatea</i> , <i>Phaseolus coccineus</i> , <i>Cicer arietinum</i> , <i>Brachiaria híbrido</i>	Sangabriel <i>et al.</i> 2006	<i>Phaseolus coccineus</i> fue la única leguminosa con tolerancia y crecimiento en suelo contaminado
<i>Brachiaria mutica</i> y <i>Leptochloa fusca</i>	Fatima <i>et al.</i> 2016	La degradación del aceite crudo (78%) se logró con las plantas de <i>B. mutica</i> inoculados con consorcio
<i>Casuarina equisetifolia</i>	Díaz-Martínez <i>et al.</i> 2013	Bioestimulación y la bioaumentación proporcionaron mayor tolerancia y acumulación de biomasa seca
<i>Festuca rubra</i> , <i>Lolium multiflorum</i>	Leewis <i>et al.</i> 2013	Árboles nativos en combinación con hierbas.
<i>Miscanthus x giganteus</i>	Techer <i>et al.</i> 2012	Disminución en el contenido de nitrato en el suelo de la rizosfera mientras que un aumento en las moléculas orgánicas disueltas indicó insumos no despreciables de carbono orgánico de plantas que pueden participar en la formación de la materia orgánica del suelo

Algunas de las especies de plantas probadas con éxito en la fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos son: *Zea mays* L., *Panicum máximum jacq*, *Paspalum xirgatum*, *Echinochloa polystachya* H B K, *Sorghum vulgare* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Phaseolus coccineus* L., *Chamaecrista nictitens*, *Hordeum vulgare*. Ferrera-Cerrato *et al.* (2006)

sugieren inoculación de microorganismos en plantas para incrementar la eficiencia de la degradación.

6.2. Fitorremediación en agua

En lo referente a los procesos de fitorremediación en cuerpos de agua son muchos los estudios e investigaciones que se han realizado cuando los

contaminantes son principalmente aguas residuales o dado el caso metales pesados. No obstante, cuando nos referimos a aguas contaminadas con hidrocarburos la cantidad de publicaciones disminuyen drásticamente; esto puede ser, debido a la particularidad en lo referente la composición de dichas sustancias, puesto que en casos de derrames en cuerpos de agua estos pueden ser retirados de forma manual, por medio de adición de químicos -aparentemente más rápidos-, que en la mayoría de los casos son más tóxicos que los propios hidrocarburos, como en el caso del Golfo de México en 2010. También puede ser debido a que el agua presenta la particularidad del movimiento como ríos o mares, dificultando de dicha forma la plantación de especies vegetales, además de ser un proceso que puede tardar desde meses hasta años. En los últimos 10 años, Ferrera-Cerrato *et al.* (2006) reportan la capacidad de las microalgas para biotransformar y biodegradar contaminantes orgánicos como hidrocarburos, plaguicidas; las microalgas y cianobacterias proveen carbono reducido y nitrógeno a la microbiota presente en los ecosistemas acuáticos, lo que incrementa el potencial de degradación y eliminación de contaminantes.

Rezania *et al.* (2015) reportan *Eichhornia crassipes*, conocido como jacinto de agua se caracteriza por ser una especie muy productiva, pero invasiva a lo largo de mundo, siendo muy difícil su erradicación; sin embargo, debido a su alta capacidad de absorber contaminantes de cuerpos de agua es utilizada hoy en día como planta pionera en procesos de fitorremediación de cuerpos de agua. Por otro lado, Akinbile & Monh (2012) sugieren a *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* para reducir la turbidez en cuerpos de agua con una efectividad de 92,70% 87,05% respectivamente. *Brachiaria mutica*, por su parte, tiene el potencial de remover los contaminantes orgánicos e inorgánicos de los efluentes de cuerpos de aguas, en este caso en particular de humedales (Ijaz *et al.*, 2015). De esta manera, se plantean algunas especies usadas con éxito en la absorción y retención de sustancias contaminantes de aguas.

6.3. Evaluación de la fitorremediación

San Gabriel *et al.* (2006) evaluarón la tolerancia y capacidad de reducción de contenido de hidrocarburos de tres especies de leguminosas (*Clitoria ternatea*, *Phaseolus coccineus*, *Cicer arietinum*) y tres gramíneas (*Brachiaria* híbrido, *Brachiaria brizantha* y *Panicum maximum*), reportando que *Phaseolus coccineus* fue la única leguminosa con tolerancia y crecimiento en suelo contaminado; además que la presencia de plantas en suelo contaminado estimuló la proliferación de microorganismos en la rizósfera. De igual forma, Peng *et al.* (2009) presentan la capacidad de remediación de *Mirabilis Jalapa L.* para tratar el suelo contaminado con petróleo del campo petrolífero mediante experimento de campo en invernadero, mostrando que la eficiencia promedio de remoción de hidrocarburos totales de petróleo por *M. jalapa* durante el período de cultivo de 127 días fue de 41,61-63,20%. Por otro lado, Chan *et al.* (2012), estudiaron la capacidad de germinación y sobrevivencia de siete especies arbóreas nativas que crecen en suelos contaminados con petróleo y que las hace potenciales para la fitorremediación. *Byrsonima crassifolia*, *Cedrela odorata*, *Guazuma*, *Ulmifolia*, *Inga inicuil*, *Psidium guajava*, *Swietenia macrophylla* y *Tabebuia rosea*. Estas son especies arbóreas que además de servir como fitorremediadoras generan utilidad económica ya que algunas son especies frutales, maderables, utilizadas como cercos vivos o de forraje; dando como resultados que las especies *Swietenia macrophylla*, *Cedrela odorata*, y *Tabebuia rosea*; presentaron un porcentaje de germinación mayor al 80%, mientras *Guazuma*, *Ulmifolia* presentó un porcentaje de germinación menor que las demás especies pero un porcentaje de supervivencia mayor. Debido a que estas especies además de ser herramientas exitosas en fitorremediación, también presentan la capacidad de generar utilidad económica, hacen más interesante su investigación para ser utilizadas en estudios posteriores.

Petenello *et al.* (2014) reportan el efecto de dos Fabáceas: *Spartina argentinensis* y *Melilotus alba*. Dichas especies se caracterizan por hacer simbiosis

mutualistas con fijadores de nitrógeno; en presencia de las plantas se observó un incremento en la biomasa y se promovió la respiración. De igual manera, la presencia de *Melilotus alba* produjo una más temprana mineralización del diesel-oil en comparación con *Spartina argentinensis*; probablemente porque aporta una mayor cantidad de nitrógeno al suelo a través de sus exudados y descamación de células de la raíz incorporadas al suelo. Por otra parte, *Spartina argentinensis* incremento la biomasa. En este estudio, se demostró la efectividad de las plantas en el proceso de disminución de los contaminantes en suelos con diesel-oil y sus asociaciones naturales. Delgadillo-López *et al.* (2003) reportaron algunas plantas utilizadas con fines de fitoestabilización; *Hyparrhenia hirta*, *Zygophyllum fabago*, *Lupinus albus*, *Anthyllis vulneraria*, *Deschampsia italicum*, *Festuca arundinaceae* y *Brassica júncea*, con resultados satisfactorios; aunque es importante reiterar que cada ecosistema es dinámico y particular por lo cual no existen recetas universales al momento de planear una recuperación. Mientras, Rivera *et al.* (2015) reportaron *Cyperus Laxus* (considerada una mala hierba), como planta pionera en sitios de derrames de petróleo, esta especie tiene la capacidad de crecer bajo condiciones de estrés debido a sus rasgos bioquímicos que le permiten una mayor tasa fotosintética, además de ventajas reproductivas sobre otras plantas para sobrevivir en áreas perturbadas.

6.5. Fitorremediación y sus asociaciones

Además de las bacterias, los hongos micorrízicos son de gran importancia para lograr un proceso recuperación, ya que los tratamientos de fitorremediación en los cuales se establecen asociaciones micorrízicas son más eficientes en la remoción de hidrocarburos y en la disminución de la toxicidad del suelo remediado (Joner *et al.* 2001); Peña-Castro *et al.* (2006) señalan que existe un efecto positivo adicional de la simbiosis micorrízica en la fitorremediación de petróleo y la estimulación de una microflora de bacterias específica y a partir de esta simbiosis se registra un aumento en la eficiencia de la fitorremediación.

Por otra parte, Mohsenzadeh *et al.* (2010) determinaron hongos asociados a la raíz de las plantas *Alhaji*

cameleron L. (Fabaceae), *Amaranthus retroflexus L. var. Retroflexus* (Amaranthaceae), *Convólvulus arvensis L.* (Convolvulaceae), *Chrozophora hierosolymitana Spreg.* (Euphorbiaceae), *Noea mucronata L.* (Boraginaceae), *Poa sp.* (Poaceae) y *Polygonum aviculare L.* (Polygonaceae), las cuales presentan la particularidad de crecer en área contaminadas y por ende absorber e inmovilizar los contaminantes en la raíz, el tallo y las hojas de las plantas. De igual manera, Soleimani *et al.* (2010) estudiaron los efectos de dos especies de hierba -*Festuca arundinacea Schreb* y *Festuca pratensis Huds.*-, infectados y no infectados por hongos endofíticos -*Neotyphodium coenophialum* y *Neotyphodium uncinatum*, respectivamente- en la degradación de petróleo en un suelo, mostrando como resultado que las plantas infectadas por los hongos contenían más biomasa de raíces y brotes que las plantas no infectadas; por lo tanto, las gramíneas infectadas con hongos endofíticos podrían ser más eficientes para la eliminación de petróleo de suelos.

Finalmente, Rajtor & Piotrowska-Seget (2016) evalúan el papel y la importancia de los hongos micorrízicos arbusculares en la fitorremediación de sitios contaminados con hidrocarburos, concluyendo que los sistemas de fitorremediación de los componentes basados en interacciones sinérgicas entre las raíces de las plantas, los hongos micorrízicos arbusculares y los microorganismos degradantes de hidrocarburos manifiestan una alta eficacia en la disipación de contaminantes orgánicos en el suelo.

6.6. Fitorremediación con especies nativas

Colombia se caracteriza por ser uno de los países más biodiversos del planeta, gracias a ello, se cuenta con gran variedad de especies nativas, diversos tipos de asociaciones en sus raíces y por ende con la habilidad de crecer en diferentes tipos de ambientes contaminados. Esto permite generar estrategias fitorremediadoras en cualquier sector de Colombia que presente problemas de contaminación, con el fin de degradar sustancias orgánicas como son los hidrocarburos. Autores como Díaz-Martínez *et al.* (2013); Leewis *et al.* (2013); Techer *et al.* (2012) y Marchand *et al.* (2016) sugieren el uso de especies vegetales nativas al momento de plantear un

proceso de fitorremediación, debido a los beneficios que genera tanto en otras especies vegetales como en la fauna de los ecosistemas. Sin embargo, esta sugerencia es muy bien recibida para países que se encuentran en el trópico, puesto que presenta la facilidad de elegir entre un amplio número de especies; lo cual no es igual para zonas templadas, en donde debido a sus características, físicas, climáticas, o de relieve, el número de especies es reducido; y por ende, se opta por la utilización de especies introducidas, para de esta forma, llevar a cabo procesos de fitorremediación ya sea de contaminantes orgánicos como en el caso de los hidrocarburos o por el contrario de elementos inorgánicos como los metales pesados.

Por otro lado, las investigaciones realizadas en lo referente a la fitorremediación y en especial con especies nativas se presenta con más frecuencia en suelos o cuerpos de agua contaminados por metales pesados; Marrugo-Negrete *et al.* (2016), sugieren el uso de especies *J. curcas*, *P. marginatum*, *C. annuum* y *S. bifidus*, las cuales son autóctonas de Montería Colombia y presentan la capacidad de acumular mercurio en sus tejidos. De esta forma, cabe destacar la necesidad de ampliar investigaciones en lo referente a los procesos fitorremediadores de suelos y aguas contaminados con hidrocarburos en Colombia, en donde debido a los constantes accidentes de derrames que se presentan nos brinda la posibilidad de un amplio campo de estudio.

Fitorremediación y biorremediación como estrategias conjuntas

Es común observar estudios en donde se combine el uso de biorremediación y fitorremediación, con el fin de obtener óptimos resultados en la extracción de contaminantes. Este es el caso de Fatima *et al.* (2016), en donde el consorcio de dos bacterias endofíticas degradadoras de petróleo (*Acinetobacter* sp. BRS156 tensión y *Pseudomonas aeruginosa* cepa BRR154) inoculadas en *Brachiaria mutica* y *Leptochloa fusca* reportan un 78% de degradación de crudo, comparado con un 40% de degradación al usar solo fitorremediación. De igual forma, Almansoori *et al.* (2015) reportan el uso de un agente tensoactivo producido mediante la inoculación de

S. marcescens en *Ludwigia octovalvis* proporcionando una eliminación de 93.5% de hidrocarburos totales de petróleo. Hou *et al.* (2015) por su parte sugieren la inoculación de bacterias promotoras del crecimiento vegetal *Klebsiella* sp. D5A y *Pseudomonas* sp. SB en *Testuca arundinacea* L. aumento de la biomasa y eliminación de hidrocarburos. De esta manera, se concluye sobre los beneficios de utilizar técnicas de remediación unificadas, además de prestar más atención a la función de las bacterias durante la fitorremediación del petróleo, para de esta forma mejorar su eficacia. Lo anterior manifiesta la amplia variedad de métodos fitorremediadores con el único fin de mejorar la captación de contaminantes y recuperar así suelos y cuerpos de agua contaminados por hidrocarburos.

6.7. Ventajas y desventajas de la fitorremediación

Aunque la fitorremediación una técnica económica y en muchos sentidos benéfica para la recuperación de los suelos, puede contener algunas desventajas que deben ser conocidas antes de iniciar un proyecto de recuperación utilizando como fundamento dicha técnica (Tabla 3). En base a la bibliografía revisada se identificaron cuatro factores relevantes a tener en cuenta al momento de elegir las especies más adecuadas para llevar a cabo una recuperación de suelos y cuerpos de agua afectados por hidrocarburos:

1. La profundidad de la raíz de la especie vegetal a elegir.
2. Tipo de contaminante
3. Parte del suelo afectada –horizonte-, o en lo referente a cuerpos de agua superficialidad o profundidad.
4. Tiempo. Este último es de gran importancia puesto que tener la certeza del tiempo transcurrido desde que ocurre a contaminación hasta que se inicia la fitorremediación permite estimar la profundidad de penetración del contaminante y de esta manera elegir las especies más adecuadas.

Al utilizar especies arbóreas con raíces profundas, permite la absorción de contaminantes a profundidades hasta de 2 m. pero si por el contrario, se usan especies como gramíneas o leguminosas el

desarrollo de sus raíces es superficial permitiendo, la absorción, degradación o inmovilización de sustancias acumuladas en la superficie. El tipo de contaminante, su presencia en los horizontes del suelo y, de esta manera, elegir las especies más

apropiadas para iniciar la recuperación. Finalmente, el tiempo que tarda la especie en establecerse; puesto que dependiendo de la especie, su velocidad de crecimiento y desarrollo se pueden obtener resultados de meses e incluso años.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de la fitorremediación como técnica remediadora

Ventajas	Desventajas	Fuente
Las plantas pueden ser utilizadas como bombas extractoras para depurar suelos y aguas contaminadas	El proceso se limita a la profundidad de penetración de las raíces o a aguas poco profundas	Zhou <i>et al.</i> (2015); Shen <i>et al.</i> (2013)
La fitorremediación es método apropiado para descontaminar superficies grandes o para finalizar la descontaminación de áreas restringidas en plazos largos	La fitotoxicidad es un limitante en áreas fuertemente contaminadas. Riesgo para la cadena alimenticia, si se eligen especies utilizadas como fuente de alimento	Harvey <i>et al.</i> (2002); Thakur <i>et al.</i> (2016)
La fitorremediación es una metodología con buena aceptación pública	Los tiempos del proceso pueden ser muy prolongados	Ibañez <i>et al.</i> (2016); Gerhardt <i>et al.</i> (2007)
La fitorremediación genera menos residuos secundarios	Se requiere comprender mejor la naturaleza de los productos de degradación (fitodegradación)	Rezania <i>et al.</i> (2015)
Las plantas emplean energía solar. El tratamiento es <i>in situ</i>	No todas las plantas son resistentes a crecer en presencia de contaminantes	Weyens <i>et al.</i> (2015); Fawzy <i>et al.</i> (2012)

Finalmente, el impacto de los derrames de hidrocarburos tiene consecuencias a corto y largo plazo. El impacto inmediato es de características graves, pues generalmente involucra la mortandad masiva de aves, peces, mamíferos e invertebrados marinos. Las poblaciones afectadas tardan un tiempo considerable en recuperarse. Un tiempo después, algunos componentes tienden a solubilizarse y otros a oxidarse, conformando bolas de alquitrán, que según reportes causan daños importantes y mortalidad de las comunidades afectadas, como microorganismos asociados al suelo o cuerpos de agua, microinvertebrados, macroinvertebrados, hongos, plantas y animales. La fracción aromática de los hidrocarburos del petróleo es la que presenta mayor toxicidad y efectos cancerígenos; luego de su incorporación a los organismos por ingestión o a través de las membranas braquiales se acumula

principalmente en los tejidos grasos (Moreno. 2006), permitiendo de esta manera su acumulación a través de las diferentes redes tróficas que se forman en los ecosistemas magnificando su toxicidad.

Conclusiones

Los principales factores que evidencian la contaminación de suelos y cuerpos de agua por hidrocarburos son los derrames accidentales durante la exploración, extracción y transporte de los mismos. Al ser la explotación, extracción y transporte de hidrocarburos causantes de contaminación al medio ambiente, es importante señalar la fitorremediación como una estrategia biotecnológica prometedora al momento de recuperar ambientes contaminados.

La fitorremediación entre sus ventajas destaca por ser un método apropiado para descontaminar suelos y agua de forma natural, con la ayuda de los procesos biológicos de los ecosistemas y la energía solar, sin la necesidad de adicionar sustancias químicas que pueden llegar a ser más peligrosas que los mismos contaminantes. No obstante, la fitorremediación se caracteriza por ser un proceso que puede tardar de meses a incluso años, lo cual se manifiesta como una desventaja al momento de elegirla, pero como una alternativa viable y amigable con el medio ambiente.

Finalmente, se pudo conocer la afectación de los suelos y cuerpos de agua por los derrames de hidrocarburos, así mismo, identificar las zonas que han sido afectadas en el transcurso del tiempo en Colombia y las propiedades de la fitorremediación como estrategia biotecnológica adecuada para recuperar ambientes contaminados con hidrocarburos.

Literatura citada

- Adams, R., Zavala-Cruz, J. & Morales-García, F. (2008). Concentración residual de hidrocarburos en el suelo del trópico. II: Afectación a la fertilidad y su recuperación. *Interciencia*. 33, 483-48.
- Agnello, A. C., Bagard, M., VanHullebusch, E.D., Esposito, G. & Huguenot, D. (2016). Comparative bioremediation of heavy and petroleum hydrocarbons co-contaminated soil by natural attenuation, phytoremediation, bioaugmentation and bioaugmentation-assisted phytoremediation. *Science of the Total Environment*. 563-564, 693-703.
- Akinbile, C.O. & Mond, S. (2012). Assessing water hyacinth *Eichhornia crassipes* and Lettuce *Pistia Stratiotes* effectiveness in aquaculture wastewater treatment. *International Journal of phytoremediation*. 14, 201-211.
- Almansoori, A., Hasan, H., Idris, M., Abdullah, S. R. & Anuar, N. (2015). Potential application of a biosurfactant in phytoremediation technology for treatment of gasoline-contaminated soil. *Ecological Engineering*. 134, 113-120.
- Almeida, N., Avelar, P., Soriani, H., Brunetto, G., Nicoloso, F., Antonioli, Z. & Jacques, R. (2015). Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and vermicompost on copper phytoremediation in a sandy soil. *Applied Soil Ecology*. 96, 172-182.
- Arias, S., Betancur, M., Gómez, G., Salazar, J.P. & Hernández, M. L. (2016). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador técnico (Colombia)*. Vol 74.
- Balderas-León, I., Sánchez-Yáñez, J.M. (2015). Biorremediación de suelo contaminado con 75000 ppm de aceite residual automotriz por bioestimulación y fitorremediación con *Sorghum vulgare* y *Bacillus cereus* y/o *Burkholderia cepacia*. *Journal of the Selva Andina Research Society*. 6, 26-32.
- Benavides, L., Quintero, G., Guevara, A.L., Jaimes, A., Gutiérrez, S.M. & García, J. (2006). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos derivados del petróleo. *NOVA Publicación científica*. Vol.4 No. 5.
- Bernal, M. P., Clemente, R., Vazquez, S. & Walker, D. J. (2007). Aplicación de la fitorremediación a los suelos contaminados por metales pesados en Aznalcóllar. *Ecosistemas* 16, 67-76.
- Castro, F., Forero, D., Ramírez, J. & Reina, M. (2014). Evaluación de la contribución económica del sector de hidrocarburos colombiano frente a diversos escenarios de producción. FEDESARROLLO para la Unidad de Planeación Minero Energética –UPME.
- Chan, J. G., Ochoa, S. & Pérez, I. (2012). Germinación y sobrevivencia de especies arbóreas que crecen en suelo contaminados por hidrocarburos. Universidad de Quintana Roo unidad Cozumel. *Teoría y Praxis*. 102-119.
- Delgadillo- López, A., González- Ramírez, C., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R. & Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Versión On-line ISSN 1870-0462. *Trop. subtrop. agroecosyst* Vol.14 no.2.
- Díaz-Martínez, E., Alarcón, A., Ferrera- Cerrato, R., Almaraz-Suarez, J. J. & García- Barradas, O. (2013). Crecimiento de *Casuarina equisetifolia* (*Casuarinaceae*) en suelo con diesel, y aplicación de bioestimulación y bioaumentación. *Rev. Biol. Trop.* Vol. 61 (3): 1039-1052.
- Fatima, K., Imran, A., Amin, I., Khan, Q.M. & Afzal, M. (2016). Plant species affect colonization patterns and metabolic activity of associated endophytes during phytoremediation of crude oil-contaminated soil. *Environmental Science Pollution Restoration*. 23, 6188-6196.
- Fawzy, M., Badr, N., El-Khatib., A. & El-Kassem., A. (2012). Heavy metal biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophytes in *River Nile*. *Environmental Monitor Assessment*. 184, 1753-1771.
- Ferrera-Cerrato, R., Rojas- Avelizapa, N, Poggi- Valdo, H. M., Alarcón, A. & Cañizares-Villanueva, R. O. (2006). Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. *Revista Latinoamericana de Microbiología*. Vol. 48, No. 2. pp. 179 – 187.
- González, N., Simarro, R., Molina, M.C., Bautista, L. F., Delgado, L. & Villa, J. A. (2011). Effect of surfactants on PAH biodegradation by a bacterial consortium and on the dynamics of the bacterial community during the process. *Bioresource Technology*. 102, 9438-9446.
- Gerhardt, K., E., Gerwing, P. D. & Greenberg, B. M. (2017) Opinion: Taking phytoremediation from proven technology to accepted practice. *Plant Science*. 256, 170-185.

19. Harvey, P., Campanella, B. F., Castro, P., Harms, H., Lichtfouse, E., Schäffner, A., Smrcek, S. & Weck-Reichhart, D. W. (2002). Phytoremediation of Polyaromatic Hydrocarbons, Anilines and Phenols. *Environmental Science and Pollutant Restoration*. 9, 29-47.
20. Hou, J., Lui, Y., Wang, B., Wang, Q., Luo, Y. & Franks, A.E. (2015). PGPR enhanced phytoremediation of petroleum contaminated soil and rhizosphere microbial community response. *Chemosphere*. 138, 592-598.
21. Huang, X., Ei-Alaxi, Y., Penrose, D. M., Glick, B. & Greenberg, B. (2004). A multi-process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils. *Environmental Pollution*. 130, 465-476.
22. Ibañez, S., Talano, M., Ontan, O., Suman, J., Medina, M., Macek, T. & Agostini, E. (2016). Transgenic plants and hairy roots: exploiting the potential of plant species to remediate contaminants. *New Biotechnology*. 33, 625-633.
23. Ijaz, A., Shabir, G., Khan, Q. M. & Afzal, M. (2015) Enhanced remediation of sewage effluent by endophyte-assisted floating treatment wetlands. *Ecological Engineering*. 84, 58-66.
24. Jiménez, D. L. (2006). Estudio de impacto ambiental generado por un derrame de hidrocarburos sobre una zona estuarina, aledaña al terminal de ecopetrol en Tumaco. (tesis de pregrado). Ingeniería Ambiental Sanitaria. Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia.
25. Joner, E.J., Johansen, A.P., Loibner, M.A., De la cruz, O.H. & Leyval, C. (2001). Rhizosphere effects on microbial community structure and dissipation and toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in spiked soil. *Environmental Science and Technology*. 35, 2773-2777.
26. Lewis, M.C., Reynolds, C. & Leigh, M. (2013). Long-term effects of nutrient addition and phytoremediation on diesel and crude oil contaminated soils in subarctic Alaska. *Cold Region Science and Technology*. 96, 129-137.
27. Lin, Y. & Kunli, B. (2016). Removal of pharmaceuticals and personal care products by *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes*. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 58, 318-323.
28. Mahar, A., Wang, P., Ali, A., Awathi, M.K., Lahori, A., Wang, Q., Li, R. & Zhang, Z. (2016). Challenges and opportunities in the phytoremediation of heavy metals contaminated soils: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 126, 111-121.
29. Maldonado, E., Chávez-Rivera, M. C., Izquierdo, F. & Palma, D. J. (2010). Efectos de rizosfera, microorganismos y fertilización en la biorremediación de suelos con petróleos crudo nuevo e intemperizado. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 26(2):121-136.
30. Marchand, L., Sabaris, C., Desjardins, D., Oustrire, N., Pesme, E., Butin, D., Wicart, G. & Mench, M. (2016). Plant responses to a phytomanaged urban technosol contaminated by trace elements and polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environmental Science Pollution Restoration*. 23, 3120-3135.
31. Marrugo- Negrete, J., Marrugo-Madrid, S., Pinedo-Hernández, J., Durango-Hernández, J. & Díaz, S. (2016). Screening of native plant species for phytoremediation potential. *Science of the total environment*. 542, 809-816.
32. Mendelssohn, I. A., Andersen, G.L., Baltz, D., Caffey, R., Carman, K., Fleeger, J, Joye, S. B., Lin, Q., Maltby, E., Overton, E. B. & Rozas, L. (2012). Oil Impacts on Coastal Wetlands: Implications for the Mississippi River Delta Ecosystem after the Deepwater Horizon Oil Spill. *Bioscience*. 62, 562-574.
33. Mohsenzadeh, F., Nasser, S., Mesdaghinia, A., Nabizadeh, R., Zafari, D., Khodakaramian, G. & Chehregani, A. (2010). Phytoremediation of petroleum-polluted soils: Application of *Polygonum aviculare* and its root-associated (penetrated) fungal strains for bioremediation of petroleum-polluted soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 73, 613-619.
34. Moreno, V. M. (2006). Derrames de hidrocarburos. Grupo Evaluación Ambiental de Proyectos Subdirección Técnica Parques Nacionales Naturales.
35. Núñez, D. C. (2012). Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. *Revista tecnológica de ingeniería*. Vol 37, 1.
36. Peng, S., Zhou, Q., Cai, Z. & Zhang, Z. (2009). Phytoremediation of petroleum contaminated soils by *Mirabilis jalapa* L. in a greenhouse plot experiment. *Journal of Hazardous Materials*. 168, 1490- 1496
37. Peña-Castro J. M., Barrera-Figueroa, B. E., Ruiz-Medranol, R. & Xoconostle-Cázares, B. (2006). Bases moleculares de la fitorremediación de hidrocarburos totales de petróleo. *Terra Latinoamericana*. 24, 4.
38. Petenello, M. C., Beltrán, C. & Feldman, S. R. (2014). Efecto del agregado de diesel-oil sobre algunos parámetros microbiológicos del suelo con y sin presencia de plantas. *Terra Latinoamericana*. 32, 301-309.
39. Petro, P. H. & Mercado, G. (2014). Biorremediación de suelos contaminados por derrames de hidrocarburos derivados del petróleo en Colombia. (tesis de pregrado). Facultad de ingeniería, Arquitectura, Artes y Diseño. Universidad de San Buenaventura.
40. Rajtor, M. & Piotrowska-Seget, Z. (2016). Prospects for arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to assist in phytoremediation of soil hydrocarbon contaminants. *Chemosphere*. 162, 105-116.
41. Ramírez - Pérez, F (2015). Fitoextracción de plomo de dos suelos contaminados utilizando espinaca y dos agentes quelantes. (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro División de Ingeniería. México.
42. Rezanian, S., Ponraj, M., Talaiekhosani, A., Mohamad, S., Md Din, M., Taib, S., Sabbagh, F. & Sairan, F. (2015). Perspectives of phytoremediation using water hyacinth for removal of heavy metals, organic and inorganic pollutants in wastewater. *Journal of Environmental Management*. 163, 1125-1133.
43. Rivera, N. A., Montes, M.C., Rodríguez, R. V., Esparza, F. J., Vargas, J. P., Ariza, A., Ferrera-Cerrato, R. &

- Gómez, O. G. (2015). The fatty acid profile analysis of *Cyperus laxus* used for phytoremediation of soils from aged oil spill-impacted sites revealed that this is a C 18: 3 plant species. *Plos One* | DOI:10.1371/journal.pone.0140103.
44. Salamanca, E., Madera- Parra, C., Sánchez, J. M. & Medina- Vásquez, J. (2013). Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso *Heliconia psittacorum* (*Heliconiaceae*). *Revista Académica de Colombia Ciencia*. 37 no.145.
 45. Sangabriel, W., Delgadillo, J. & Alarcón, A. (2006). Tolerancia y capacidad de fitorremediación de combústo- leo en el suelo por seis especies vegetales. *Contami- nación Ambiental*. 22, 63-73.
 46. Siciliano, S., Germida, J., Banks, G. K. & Green, C. (2003). Changes in Microbial Community Composi- tion and Function during a Polyaromatic Hydrocarbon Phytoremediation Field Trial. *Applied and Environmen- tal Microbiology*. 69, 483-489.
 47. Serrano, M.F., Torrado, L.M. & Pérez, D.D. (2013). Im- pacto de los derrames de crudo en las propiedades mecánicas de suelos arenosos. *Ciencia y Tecnología*. 11, 233-244.
 48. Shen, Mi., Liu, L., Li, D-W., Zhou, W., Zhou, Z-P., Zhang, C., Luo, Y. & Li, H. (2013). The effect of endo- phytic *Peyronellaea* from heavy metal-contaminated and uncontaminated sites on maize growth, heavy metal absorption and accumulation. *Fungal Ecology*. 6, 539-545
 49. Shin, E.C. & Das, B.M. (2001). Bearing Capacity of Un- saturated Oil-Contaminated Sand. *International Jour- nal Offshore Polar Engineering* 11, 220-227.
 50. Soleimani, M., Afyuni, M., Hajabbasi, M., Nourbakhsh, F., Sabzalian, M. & Christensen, J.H. (2010). Phyto- remediation of an aged petroleum contaminated soil using endophyte infected and non-infected grasses. *Chemosphere*. 81, 1084-1090.
 51. Spier, C., Stringfellow, W. T., Hazen, T. & Conrad, M. (2013). Distribution of hidrocarbons released during the 2010 MC252 oil spill in deep offshore waters. *Envir- onmental pollution*. 173, 224-230.
 52. Techer, D., Martínez-Chois, C., Laval-Gilly, P., Hen- ry, S., Bennasroune, A., D'Innocenzo, M. & Falla, J. (2012). Assessment of *Miscanthus xgiganteus* for rhi- zoremediation of long term PAH contaminated soils. *Applied Soil Ecology*. 62, 42-49.
 53. Thakur, S., Singh, L., Wahid, Z., Siddiqui, M., Atnaw, S. & Din, M. (2016). Plant-driven removal of heavy metals from soil: uptake,translocation, tolerance mechanism, challenges, and future perspectives. *Environmental Monitor Assessment*. 188-206.
 54. Trujillo-García, A., Rivera-Cruz, M., Lagunes, L., Pal- ma- López, D. J., Sánchez, S. & Ramírez- Valverde, G. (2014). Parámetros biológicos de la restauración de suelos contaminados por petróleo crudo. *Ecosistemas y recursos. Agropecuarios Vol.1* n.2 Villahermosa. ISSN 2007-901X.
 55. Weyens, N., Thijs, S., Witters, N., Przybysz, A., Espens- hade J., Gawronska, H., Vangronseveld, J. & Gawrons- ki, W. (2015). The role of plant-Microbe interactions and their exploitation for phytoremediation of air pollutants. *Int. J. Mol. Science*. 16(10), 25576-25604.
 56. Wiszniewska, A., Hanus-Fajerska, W., Muszynska, W. & Ciarkowska, K. (2016). Natural Organic Amendments for Improved Phytoremediation of Polluted Soils: A Re- view of Recent Progress. *Pedosphere*, 26, 1-12.
 57. Yavari, K., Yeganeh, E. & Abolghasemi, H. (2015). Pro- duction and characterization of Ho polylactic acid mi- crospheres. *Journal of labelled compounds*. 59, 24-29.
 58. Yu, Y., Liu, Y. & Wu, L. (2013). Sorption and degrada- tion of pharmaceuticals and personal care products (PP- cPs) in soils. *Environmental Science Pollution Restora- tion*. 20, 4261-4267.
 59. Zhou, L., Li, Z., Liu, W., Liu, S., Zhang, L., Zhong, L., Luo, X. & Liang, H. (2015). Restoration of rare earth mine areas: organic amendments and phytoremedia- tion. *Environmental Science and Pollution Restoration*. 22, 17151-17160.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: octubre 13 de 2016
Aceptado: octubre 31 de 2016

Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia

(PV) photovoltaic hybrid system with interaction to the network to rural areas of Colombia

Sistema híbrido fotovoltaico (FV) com rede de interação para a Colômbia rural

Iván Mauricio Ostos Rojas¹, Carlos Andrés Collazos Morales²,
Hermes Enrique Castellanos Acuña³, Claudia Patricia Fernández Arévalo⁴

¹Ingeniero de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental, Master of Engineering. ²Físico, Magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Doctor en Ciencias, Posdoctor en Tecnología Avanzada ³Ingeniero Electrónico, Magister en Ingeniería. ⁴Ingeniera Química, Especialista en Ingeniería de Producción.

^{1,2,3,4} Grupo de Ciencias Básicas y Laboratorios. Universidad Manuela Beltrán. Bogotá. Colombia

¹mostos@b2green.co, ²cacollazos@gmail.com, ³hsajca@gmail.com, ⁴clapafer@yahoo.com

Resumen

El suministro de energía eléctrica en el municipio de Arbeláez, Cundinamarca, Colombia, presenta interrupciones frecuentes, además de fluctuaciones considerables de voltaje, reduciendo confiabilidad y comodidad del usuario. Colombia cuenta con una localización privilegiada con relativamente constante irradiación solar a lo largo del año, permitiendo la implementación de sistemas fotovoltaicos para generar electricidad como respuesta válida a los problemas presentados por el suministro de energía eléctrica de baja calidad de la red. Los sistemas FV pueden generar energía eléctrica de calidad, sin desviaciones de tensión considerable, evitando inconformidad en el usuario, mala operación de equipos, pérdidas energéticas y pérdidas económicas por averías a equipos expuestos por largos periodos a energía de baja calidad. Se implementa un sistema FV que generará energía de

óptima calidad y constante para una casa de descanso. El sistema instalado se programó para trabajar de forma híbrida, la energía proveniente de las celdas solares es la fuente principal de energía para alimentar la demanda, si es requerido y el banco de baterías alcanza un 50% de descarga, la red eléctrica entraría a trabajar como sistema de respaldo. La generación actual del sistema es de 19.75kWh día, esto representa una reducción total desde diciembre de 2015 hasta agosto de 2016 de 982kg de CO_{2eq}, con un factor de emisión de 0.18259kgCO_{2eq} por cada kWh comprado de la red en el área. Cada kg de CO_{2eq} no emitido a la atmósfera, es un kg que no contribuirá al aumento del calentamiento global, aportando a la sostenibilidad.

Palabras claves: calentamiento global, Colombia, energías renovables, monitoreo remoto, solar

Abstract

The supply of electricity in the municipality of Arbelaez, Cundinamarca, Colombia, has frequent interruptions, in addition to considerable voltage fluctuations, reducing reliability and user comfort. Colombia boasts a privileged location with relatively constant sunlight throughout the year, allowing the implementation of photovoltaic systems to generate electricity as a valid response to the problems presented by the low quality of network electricity supply. PV systems can generate electric power quality, without deviations of considerable stress, avoiding discomfort on the user, poor operation of equipment, energy losses and economic losses due to spoilage exposed for long periods to low quality power PCs. Implements a PV system that will generate energy for optimal quality and constant for a rest house. The installed system is programmed to work is a hybrid, energy from the solar cells is the main source of energy to feed the demand, if it is required and the battery bank achieves a 50% discharge, electrical network would go to work as a backup system. The current generation of the system is 19.75kWh day, this represents a total reduction from December 2015 to August 2016 982 kg CO_{2eq}, with an emission factor of 0.18259kgCO_{2eq} per each purchased kWh of the network in the area. Each kg CO_{2eq} not emitted to the atmosphere, is a kg that will not contribute to the increase in global warming, contributing to sustainability.

Key-words: global warming, Colombia, renewable energies, remote monitoring, solar

Resumo

O fornecimento da energia elétrica na localidade de Arbeláez, Cundinamarca, Colômbia, apresenta interrupções frequentes além de flutuações importantes de voltagem, reduzindo a confiabilidade e o conforto do usuário. Colômbia encontra-se localizada privilegiadamente, com irradiação solar contínua ao longo do ano, permitindo a incorporação de sistemas fotovoltaicos para gerar eletricidade de baixa qualidade de rede. Os sistemas FV podem gerar energia elétrica de qualidade sem desvios de tensão evitando o inconformismo do usuário, manejo errado dos equipamentos, perdas energéticas e econômicas por problemas em equipamentos expostos a longas jornadas de energia de baixa qualidade. Foi feita a incorporação de um sistema FV que vai gerar energia de ótima qualidade e continua para uma casa de descanso. O sistema instalado foi programado para trabalhar de forma híbrida, a energia que vem de células solares é a principal fonte de energia para alimentar a demanda, se for requerido e o banco de baterias atinge um descarregamento do 50%, a rede elétrica começa a trabalhar como sistema de respaldo. A geração atual do sistema é de 19.75kWh dia, isso representa uma redução total desde dezembro de 2015 até agosto de 2016 de 982kg de CO_{2eq}, com fator de emissão de 0.18259kg CO_{2eq} por cada kWh comprado da rede na área. Cada kg de CO_{2eq} não emitido à atmosfera, é um kg que não contribuirá no aumento do aquecimento global, aportando à sustentabilidade.

Palavras-chave: aquecimento global, Colômbia, energias renováveis, monitoramento remoto, solar

Introducción

La implementación de sistemas fotovoltaicos se puede presentar como una alternativa eficiente y eficaz para suplir la demanda eléctrica en zonas rurales donde la calidad de energía eléctrica suministrada por la red no es óptima por el hecho de presentar interrupciones en el servicio y desviaciones significativas de tensión (OCCIDENTE, 2004; Plangklang, Thanomsat & Phuksamak, 2016;

Rodríguez, 2008). Dichos sistemas permiten generar electricidad de forma segura y confiable, con la posibilidad de determinar rangos de tensión, corriente y frecuencia requeridos, para así obtener energía de óptima calidad; incrementar la eficiencia de operación de los equipos alimentados y reducir emisiones de Gases de Efecto de Invernadero –GEI-, ya que la fuente de generación eléctrica

no presenta emisiones en su fase operativa (Hou *et al.*, 2016; Nakagami, Ishihara, Sakai & Tanaka, 2003). El servicio de suministro de energía eléctrica en el municipio de Arbeláez Cundinamarca, Colombia, presenta interrupciones frecuentes, además de fluctuaciones considerables de voltaje. La calidad de energía eléctrica no óptima presente en el municipio resulta en la reducción del nivel de confiabilidad y comodidad del usuario, y de la eficiencia de los equipos eléctricos conectados a la red (OCCIDENTE, 2004).

Mediante esta investigación se buscó implementar un sistema FV que generara energía de calidad óptima y constante para una casa de descanso localizada en municipio de Arbeláez, y así suplir la demanda presentada por el usuario que es de 28kWh, el sistema contará con 30 paneles solares policristalinos de 255Wp cada uno; banco de baterías, permitiendo al usuario la posibilidad de permanecer desconectado de la red; controladores tipo MPPT --rastreo del máximo punto de generación-, para mayor eficiencia; inversores tipo híbridos, el sistema puede estar conectado o desconectado de la red según se requiera o desee, en este caso la red pasa a ser un sistema de emergencia (Akbarzadeh & Victoria, 1992; SchneiderElectric, 2015; SchneiderElectric, 2012; Laird, 2013). La viabilidad económica fue alcanzada principalmente a través del remplazo del sistema para calentamiento de agua -duchas, cocina, jacuzzi, piscina-, usando pipetas de gas por energía solar, generando un ahorro suficiente para financiar la implementación del sistema

fotovoltaico propuesto. La generación de energía de óptima calidad se traduce en un estado de comodidad y bienestar para el usuario; se reducen ineficiencias de operación en equipos eléctricos por lo tanto menos pérdidas energéticas en el consumo; se prolonga la vida útil de electrodomésticos ya que no se exponen a elevados periodos de drásticas fluctuaciones en tensión, frecuencia ni corriente (OCCIDENTE, 2004); se alcanza independencia energética debido a que la red deja de ser la fuente que suple electricidad a la casa (Rodríguez, 2008).

Dimensionamiento sistema fotovoltaico

Para el dimensionamiento del sistema y posterior selección de los equipos se aplica principalmente el proceso de diseño propuesto por Akbarzadeh (1994) y por Smets *et al.* (2016).

A. Orientación de Paneles Fotovoltaicos

El lugar donde se implementó el sistema, está ubicado en el municipio de Arbeláez, departamento de Cundinamarca, Colombia, con coordenadas geográficas 4.2728° Norte, 74.4160° Oeste. Posteriormente, se identificó el patrón del paso del sol durante un año, lo anterior permitió definir la orientación de las placas solares. A partir de la Figura 1, el paso del sol se presenta sobre el hemisferio sur durante los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, septiembre, octubre, noviembre; y en el hemisferio norte en abril, mayo, junio, julio y agosto, lo anterior permite la posibilidad de fijar paneles orientados hacia el norte o sur (UO, 2007; UPME, 2005).

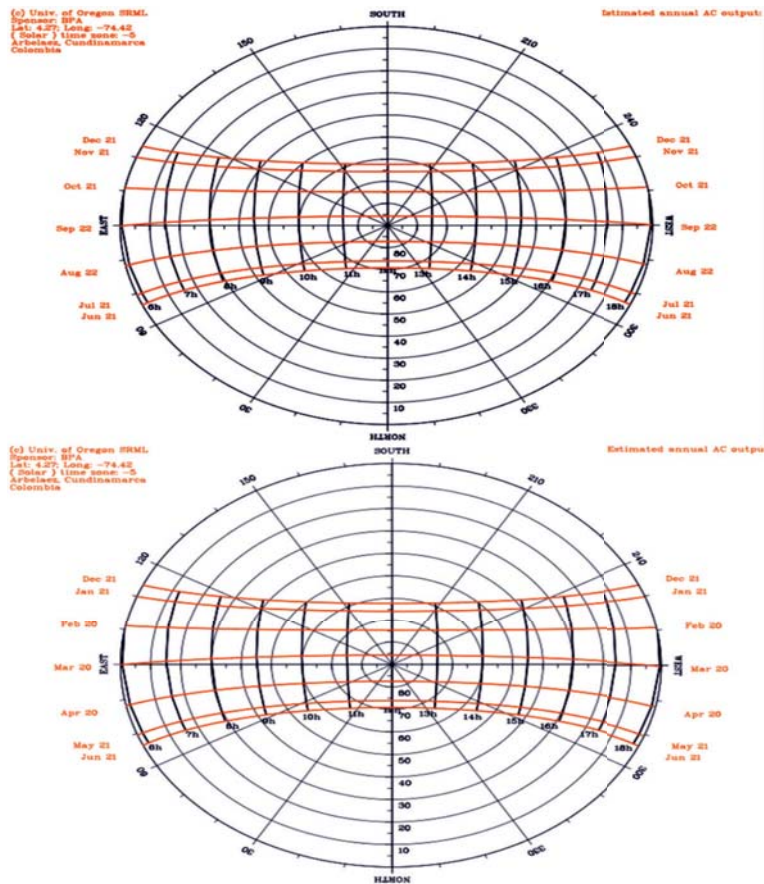


Figura 1. Paso de sol (Sunpath) anual sobre Arbeláez, Cundinamarca.

Fuente: University of Oregon, 2016

B. Óptimo Ángulo de Inclinación, β

Establecer el óptimo ángulo de inclinación (β) de los paneles teniendo en cuenta la localización del proyecto (Figura 2) apunta a obtener la mayor generación de energía por área durante el funcionamiento del sistema, para hallar β se requiere obtener previamente el ángulo de declinación (δ) dependiente de la inclinación de la tierra con respecto al sol, este varía entre 23.45° y -23.45° a lo largo del año. Inicialmente se calcula la posición de la tierra en la órbita (α) a partir de (1), luego los valores de δ a través de (2) y β en (3) pueden ser calculados para cada día del año en el lugar del proyecto. Se determinó que el β promedio anual es 14.94° (Akbarzadeh & Victoria, 1992); (Rodríguez & Benítez, 2015); (Smets, Jäger, Isabella, Zeman, & van Swaaij, 2016); (UPME, 2005).

$$\alpha = \frac{2\pi(n-1)}{365} \quad (1)$$

Donde α es la posición de la tierra en la órbita en el n día del año.

$$\delta = (0.006918 - 0.399912\cos\alpha + 0.070257\sin\alpha - 0.006758\cos 2\alpha + 0.000907\sin 2\alpha - 0.002697\cos 3\alpha + 0.00148\sin 3\alpha) \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (2)$$

Donde δ es el ángulo de declinación solar con respecto a α de un día n específico.

$$\beta = \delta - Lat \quad (3)$$

Donde β se refiere al óptimo ángulo de inclinación para las celdas solares en grados en la latitud (Lat) geográfica dada según la localización del proyecto con el δ ángulo declinación solar previamente hallado con respecto al día del año evaluado.

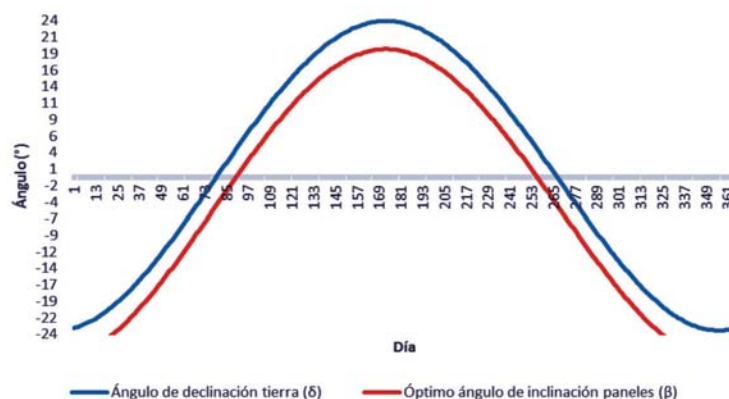


Figura 2. Óptimo ángulo de inclinación (β) en Arbeláez, Cundinamarca.

C. Irradiación, temperatura y brillo solar sobre la superficie en el área del proyecto

La irradiación sobre la horizontal y sobre planos inclinados contribuye a la evaluación de la generación energética que el sistema podría presentar (Akbarzadeh & Victoria, 1992); Sonnenenergie, 2012; Smets *et al.*, 2016). La Figura 3 compara la irradiación incidente sobre un plano y superficies inclinadas. Es

posible identificar el óptimo ángulo de inclinación, β , recibe una irradiación aproximada promedio de $4.91 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$; mientras que la superficie sin inclinación, la de 4° y la de 19° pueden experimentar irradiaciones promedio de $4.75 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$, $4.81 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ y $4.87 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ respectivamente; evidenciando una potencial superior captación energética en caso β sea usado.

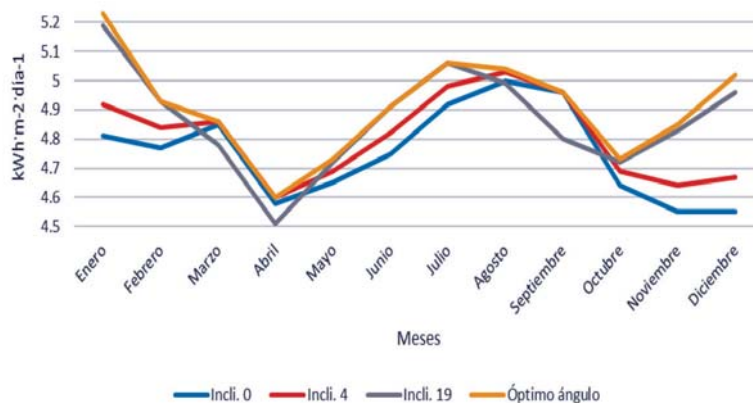


Figura 3. Promedio de incidencia de radiación solar sobre superficies en Arbeláez, Cundinamarca, 2000-2005

Por otro lado, la temperatura del aire en el área a la altura disponible para fijar placas solares, presentada en la Figura 4, puede influenciar el adecuado proceso fotovoltaico de éstas. Las celdas requieren rangos de temperatura determinados por el fabricante para obtener un mayor rendimiento y no presenciar drásticas reducciones en la vida útil, por lo tanto, se hace

fundamental evitar alcanzar el punto de estancamiento térmico *-stagnation temperture point-* durante operación, ya que este estado decremanta la eficiencia del sistema (Akbarzadeh & Victoria, 1992; Smets *et al.*, 2016). Los módulos FV pueden reducir su eficiencia entre 0.3- 0.4% por cada 1°C de incremento superior a las condiciones estándar de prueba, STC

-*Standar Test Conditions*-, de los paneles que corresponde a 25°C y 1000 W·m⁻² (Schneider Electric, 2013; Nakagami *et al.*, 2003; Ueda *et al.*, 2009). Otro factor determinante, previo al dimensionamiento de un sistema fotovoltaico, es la cantidad de horas de sol por día disponibles, PSH -*Peak Sun- Hours*- en el

sitio del proyecto, de acá se obtiene un estimado de la generación energética a partir de los paneles a ser instalados, para el lugar objeto de este trabajo es de cuatro (4) horas diarias promedio anual (Akbarzadeh & Victoria, 1992; Rodríguez & Benítez, 2015; Smets *et al.*, 2016; UPME, 2005).

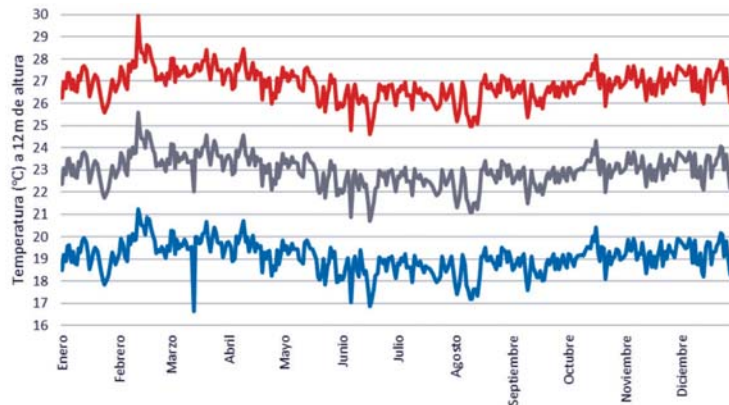


Figura 4. Temperaturas máximas, medias y mínimas anuales en Arbeláez, Cundinamarca

Fuente: University of Oregon, 2016

D. Demanda Energética

Para determinar adecuadamente la demanda, se ajustaron hábitos de consumo promedios presentados en casas de recreo similares a la referente del proyecto, estos hábitos se relacionaron con los recibos de electricidad provistos debido a que las cargas no fueron reportadas satisfactoriamente. La demanda total mensual, Demmen a suplir por el sistema es de 575 kWh -máximo consumo mensual histórico reportado en facturas de energía durante el año 2014-, esta demanda se da durante 21 días por el hecho de ser casa de recreo.

1. Horas demanda por día, Hrdía según usuario son seis (6) horas
2. Demanda día, Demdía (6 horas) en kWh es de 27.38 DC
3. Demanda día corregida, Demdco aplicando un incremento del 10% sobre Demdía para compensar pérdidas por captación, generación,

transmisión, transformación y entrega energética del sistema (Smets *et al.*, 2016); (Sonnenergie, 2012) 30.12 kW AC por día

4. Demanda por hora, Demhr es 4.56 kWh AC
5. Las cargas a alimentar trabajan óptimamente a una tensión de 110V (AC) y frecuencia de 60Hz de acuerdo a los requerimientos de la red eléctrica en Colombia (OCCIDENTE, 2004)
6. PSH significativas para generación energética (1000 W·m⁻²) por día a través de paneles fotovoltaicos en Arbeláez, Cundinamarca es de cuatro (4) horas (Rodríguez & Benítez, 2015); (UPME, 2005); al determinar el número de horas de sol promedio por día en la zona del proyecto a partir de la irradiación anual promedio usando β resulta en un valor de 4.91 PSH por día. Se selecciona un PSH de cuatro (4) para determinar el número de paneles a usar, es recomendable trabajar con el menos optimista escenario en el momento de diseñar.

E. Componentes Sistema FV

La selección de las cantidades y componentes del sistema se hace a partir de la información presentada en las secciones anteriores. El sistema instalado en la investigación se programó para trabajar de forma híbrida, esto quiere decir que se usa la energía que viene de los paneles como fuente principal de energía para la casa y en caso que sea requerido y las baterías bajen su porcentaje de carga al 50%, la red eléctrica entraría a trabajar y así no dejar la casa sin energía. En caso de que el inversor no permita la entrada de la red eléctrica se deberá a que el voltaje que ésta trae es muy alto, voltaje igual o superior a 130V resulta en un riesgo para todos los equipos o electrodomésticos que se usan en la casa (OCCIDENTE, 2004); (Schneider Electric, 2015); en otras palabras el sistema está protegiendo los electrodomésticos de sufrir daños por altos voltajes y constantes fluctuaciones de la red eléctrica, si este problema no es solucionado, tarde o temprano los equipos serán afectados al igual que el inversor el cual tiene que trabajar con ese voltaje tan alto que sobrepasa los límites de trabajo fijados. El inversor permite pasar y trabajar con un máximo de 125V, si este voltaje es mayor, por seguridad el inversor no permite el paso de energía ni el uso de la red adecuadamente, cada vez que se presente una fluctuación en rangos mayores de 125V, el inversor marcará falla (Schneider Electric, 2015; Schneider Electric, 2012).

Cuando un equipo se inicia, en su arranque puede consumir desde dos (2) hasta incluso tres (3) veces su consumo nominal (Schneider Electric, 2012), este hecho es la principal razón de una posible sobrecarga del sistema FV, cuando se cuenta con una capacidad de transferencia de energía -capacidad de inversión-, muy cercana a la capacidad instalada total (Schneider Electric, 2015); (Schneider Electric, 2012). Los inversores seleccionados

para el proyecto cuentan con 15% extra de capacidad sobre la demanda por hora reportada. La Figura 5 presenta el diagrama unifilar general del sistema FV propuesto.

1). Paneles fotovoltaicos

Se utilizan paneles marca CanadianSolar referencia CS6P-255P Quartech con potencia nominal, PPS de 255Wp y eficiencia, η de 15.85% de conversión de energía solar a energía eléctrica DC bajo STC. Estos a 25°C presentan su mayor rendimiento, pero en condiciones de temperaturas superiores a 47°C su funcionamiento normal puede verse afectado. Es importante mencionar tal como se evidencia en la Figura 4, el lugar no ofrece temperaturas fuera de los rangos de funcionamiento normal, indicados según ficha técnica (CanadianSolar, 2013). Para determinar la cantidad de paneles y por ende el tamaño del sistema FV en kWp requerido para suplir la demanda presentada por el usuario, se utiliza (4). El resultado obtenido es de 29.52 paneles, se aproxima a 30 paneles, ocupando un área de 49m² con un peso total de 555 kg que deberá soportar la cubierta.

$$NPS = \frac{(DEM_{dco} \cdot 1000)}{HSD} \cdot PPS^{-1} \quad (4)$$

Donde NPS es igual a número de paneles solares, adimensional.

La cubierta disponible cuenta con una inclinación de 19°, los paneles son instalados con dicha inclinación sobre una estructura de aluminio (Figura 6) diseñada para el proyecto. La estructura sostiene los paneles sin perforarlos. Los paneles serán divididos en dos subsistemas, cada uno de 15 unidades, configurados en cinco (5) paralelos con tres (3) series cada uno, obteniendo una corriente de operación, I_{mp} de 42.15A con voltaje de operación, V_{mp} de 90.6V por subsistema. Los dos subsistemas alimentarán dos controladores de carga solar.

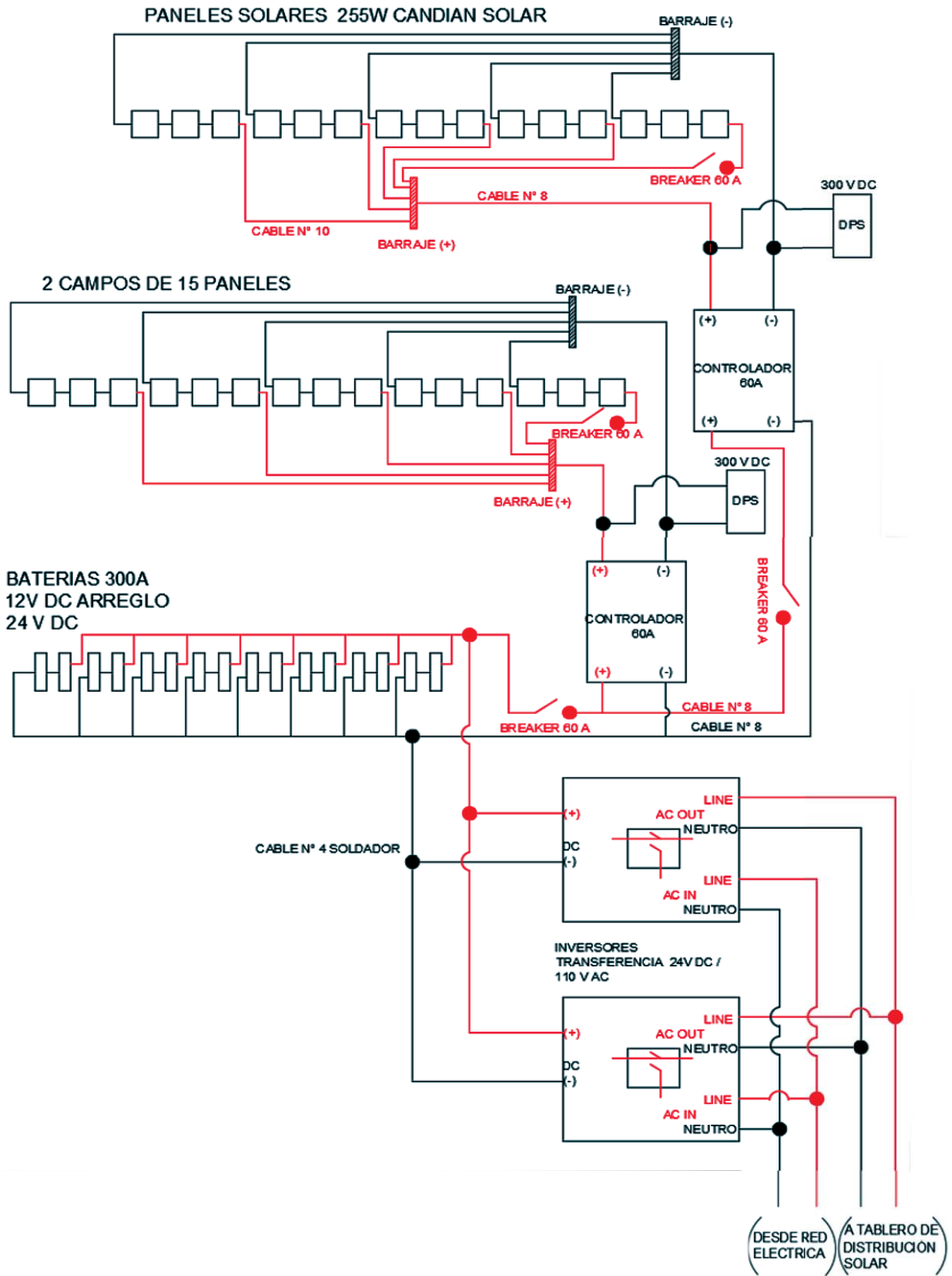


Figura 5. Diagrama unifilar sistema FV



Figura 6. Estructura en aluminio para soportar paneles solares Fuente: El Autor

2). Inversor

Se seleccionan dos inversores/ cargadores tipo híbridos marca Schneider Electric referencia Conext SW 4024 120/240 con capacidad de potencia nominal de salida de 3400W cada uno, trabajan desconectados o desconectados de la red según se requiera. Estos soportan la DEMhr AC en caso se presente, y garantizan que el sistema continúe operando, incluso en el momento de arranque de cargas simultáneamente cuando existe la posibilidad estas demanden hasta tres veces su potencia de consumo nominal, cada inversor cuenta con una capacidad de salida de 7000W durante cinco (5) segundos. Esta referencia permite la entrada y salida de DC desde y hacia un banco de baterías a 24V, también la entrada y salida de AC desde y hacia la red eléctrica, para este proyecto se transforma energía a 120VAC con una frecuencia de 60 Hz (SchneiderElectric, 2012).

3). Banco de baterías

El banco de baterías es compuesto por 16 baterías tipo plomo-ácido marca MTEK referencia 12300 con capacidad de 300 Amp- hora (Ah) a 12VDC. Se asigna un % profundidad de descarga, DOD del 50% buscando extender la vida útil de las baterías al máximo posible dentro del presupuesto establecido. Se acumula la Demdía, debido al DOD establecido, el número de baterías se duplica (5). El voltaje del banco de baterías es de 24V en respuesta a limitaciones técnicas del inversor escogido, cada batería acumularía aproximadamente 3600 WhDC, todo el banco cuenta con cerca del 105% de la DEMdía.

$$NBa = \frac{DEM_{día}}{((V_{dc} \cdot Ah)/1000)} / DOD \quad (5)$$

Siendo NBa el número de baterías.

Se conectan en serie y paralelo, ocho (8) líneas de dos (2) baterías, obteniendo 24VDC y 2400Ah.

4). Controlador de carga solar

Dos controladores de carga marca Schneider Electric de referencia Conext MPPT 60 150 serán usados para el sistema como se observa en la Figura 7, los controladores que permiten el seguimiento del punto máximo de energía son denominados MPPT *maximum power point tracking*-, contribuyen a obtener la mayor cantidad posible de la energía captada por los paneles, son responsables de cargar el banco de baterías según configuración de este. Cada uno soportará un subsistema, generan hasta 60 amperios de corriente de carga con una capacidad de hasta 150VDC provenientes de los paneles (Schneider Electric, 2013).



Figura 7. Vista general componentes del sistema

5). Dispositivo para protección de rayos y sobretensiones (DPS) o supresor de picos

Se instalan dos dispositivos marca Midnite Solar referencia MNSPD300DC, uno por cada subsistema de paneles, cada supresor de picos puede manejar hasta 300V DC. Instalados dentro de cofres localizados en cubierta (Figura 8).



Figura 8. DPS Midnite Solar 300V DC

6). Sistema de comunicación

Estos dispositivos presentan información en tiempo real del estado del sistema, generación energética, voltajes por parte de la red y el sistema FV, demanda presentada, porcentaje carga del banco de baterías. Además, permiten configurar el sistema según requerimientos del usuario de forma remota o en el sitio donde se localizó el sistema. Se instala un panel de control marca

Schneider referencia SCP como se muestra en Figura 9, éste se compone de un monitor tipo LED de fácil lectura y presentación de datos en lugar de instalación. El COMBOX, dispositivo con capacidad de enviar y recibir información del sistema vía internet, requiere de conexión local de internet. Los dos dispositivos conforman el sistema de comunicación (Schneider Electric, 2014a; Schneider Electric, 2014b).

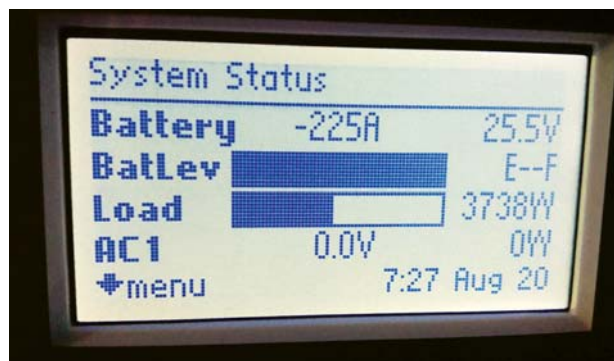


Figura 9. Datos presentados por SCP marca Schneider.

Resultados y discusión

El sistema fue diseñado para suplir DEMdco determinada a partir de las cargas presentes en el predio. Esta demanda abarca los equipos que trabajan a una sola fase (120V/60Hz), equipos que trabajan en diferentes fases por lo general presentan grandes consumos y pueden agotar muy rápido las baterías y así reducir la vida útil del sistema fotovoltaico. El usuario cuenta con la posibilidad de

desconectarse completamente de la red, además de generar energía de calidad para su uso. La generación real promedio del sistema mostrada en la Figura 10 es de 19.75kWh diarios, esto equivale al 66% de la demanda presentada por el usuario, con una producción energética promedio hora de 4.94kWp durante el tiempo que lleva operando el sistema. Lo anterior representa una reducción total

desde diciembre de 2015 hasta agosto de 2016 de 982kg de CO_{2eq} tal como lo refleja la Figura 11, con un factor de emisión de 0.18259kgCO_{2eq} por cada kWh comprado de la red en el área. Cada kg

de CO_{2eq} no emitido representa el no aumento del calentamiento global, contribuyendo al desarrollo sostenible y a la mitigación de la contaminación atmosférica (Ecometrica, 2015).

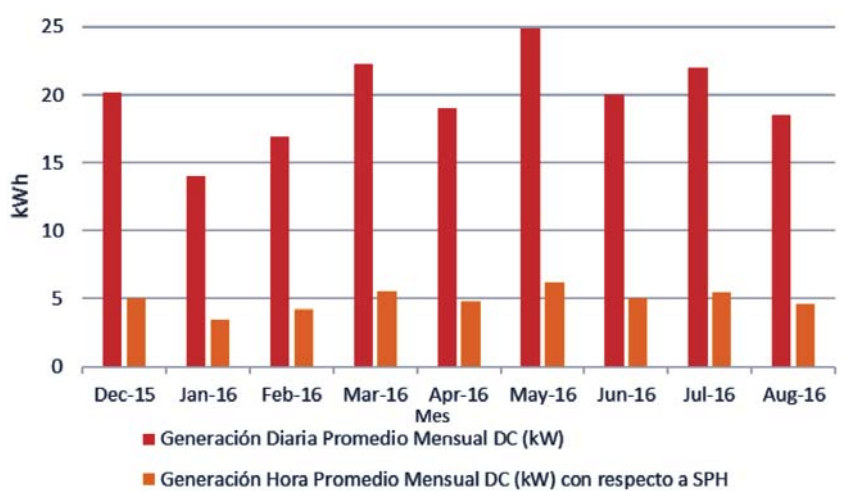


Figura 10. Generación real sistema fotovoltaico en Arbeláez, Cundinamarca

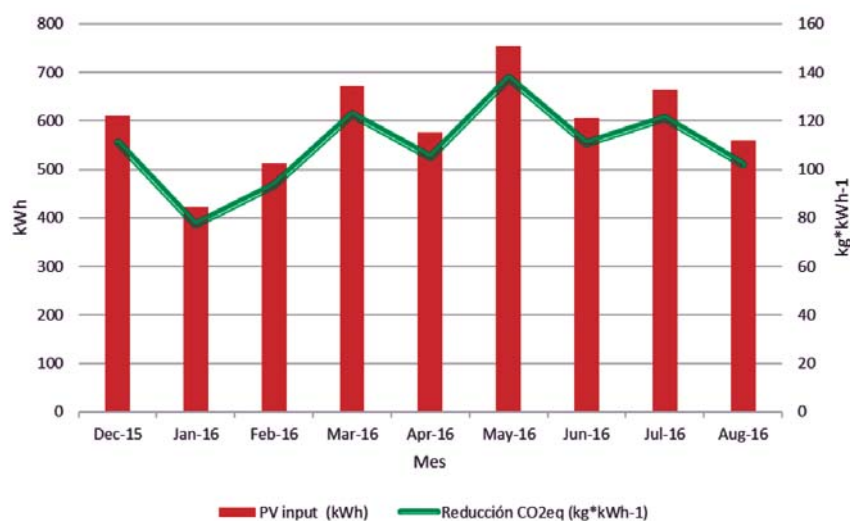


Figura 11. Generación FV en kWh en DC mensual- reducción emisiones de CO_{2eq} ligada a electricidad (kWh) no comprada a la red eléctrica

La Figura 12, a partir de datos descargados del equipo COMBOX permite observar la generación energética en AC supe la demanda presentada por el usuario entre el periodo de diciembre de 2015 a agosto de 2016, con una leve caída en la producción en abril. El comportamiento del inversor uno –maestro-, y dos

–esclavo-, responde a la configuración dada, el inversor maestro siempre está presente, en cambio el inversor esclavo entra como apoyo cuando la demanda requiere una inversión de DC a AC de por lo menos 1400W, que equivale al 20% de la capacidad nominal del sistema para transformar energía en adelante.

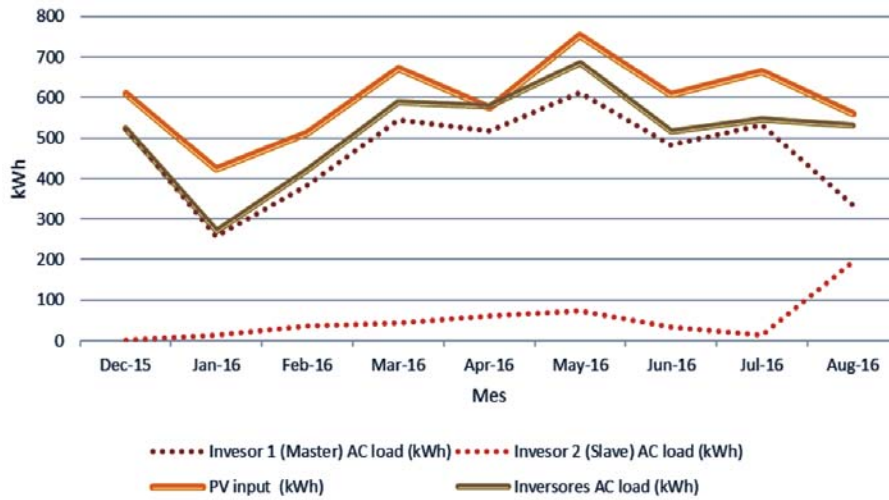


Figura 12. Generación energética AC Vs. Demanda energética AC

Los usuarios, buscando contar con energía eléctrica disponible cada vez que hagan uso del predio, inician una autoevaluación de su consumo y lo priorizan. Generalmente a las 15 horas revisan el porcentaje de carga de baterías, con esta información deciden cuánta más energía solar resta en el día para cargar baterías y que cargas deben evitar si es requerido y así pasar la noche completa con servicio energético sin uso de la red, teniendo sumo cuidado no descargar baterías por debajo de un DOD de 50%. Desde el mes de junio de 2016 la demanda se presenta relativamente constante, la producción por parte del sistema FV es suficiente para suplir la demanda regulada que actualmente maneja el usuario, 17kWh día, eliminando la entrada del sistema eléctrico nacional. El uso de la red eléctrica es restringido únicamente a días que no presenten adecuada irradiación solar para cargar el banco de baterías, está entra automáticamente cuando el bando alcanza un DOD de 50% y sale cuando se alcanza un DOD de 60%.

Conclusiones

La implementación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales del país es una alternativa viable a la red nacional; se traduce en bienestar del usuario, independencia energética, generación

energía eléctrica de óptima calidad, incremento en la vida útil de electrodomésticos, conciencia de consumo por parte del usuario conduciendo a alcanzar eficiencia energética. La reducción de GEI por instalación de placas solares es significativa, por lo tanto, no se contribuye al calentamiento global que se experimenta en la actualidad. Es importante revisar y corroborar el incremento entre la demanda actual y la tomada como base de diseño, en caso de que se busque aumentar la cantidad de equipos que el sistema fotovoltaico debe alimentar.

La determinación de pérdidas en la captación, transmisión, acumulación, producción energética del sistema FV por equipos que hacen parte de este debe ser rigurosa. La información de irradiación solar y PSH siempre que sea posible, debería ser generada en campo.

La inclusión de sistemas de monitoreo en tiempo real permite al usuario conocer e identificar aspectos como porcentaje de carga de baterías, tensión de la red, tensión del sistema, generación eléctrica desde paneles, demanda eléctrica, entre otros. Incluso es posible monitorear, configurar, evaluar el sistema desde cualquier dispositivo con acceso a internet (Schneider Electric, 2014a, 2014b, 2015).

A medida que el usuario se familiariza con el sistema, sus funciones e incluso limitaciones; es cuando los beneficios de ser eficiente energéticamente son evidenciados, se inicia un proceso de autoevaluación del consumo previo al sistema y el actual, se restringe el uso de equipos de acuerdo a su potencia y duración de su uso simultáneamente con otro equipo de características específicas que pueda afectar el adecuado funcionamiento del sistema -sobrecarga, agotamiento excesivo e injustificado del banco de baterías, sobre demanda en horarios nocturnos-

Literatura citada

1. Akbarzadeh, A., & Victoria, R. E. A. o. (1992). Fundamentals of Remote Area Power Supply Systems: A Text for Tertiary Students: Renewable Energy Authority of Victoria (Energy Victoria).
2. CanadianSolar. (2013). SOLAR MODULE, Installation Manual (UL). In C. Solar (Ed.).
3. Ecometrica. (2015). The Emission Factors. Retrieved from www.emissionfactors.com
4. Hou, G., Sun, H., Jiang, Z., Pan, Z., Wang, Y., Zhang, X., Yao, Q. *et al.* (2016). Life cycle assessment of grid-connected photovoltaic power generation from crystalline silicon solar modules in China. *Applied Energy*, 164, 882-890. doi: <http://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.11.023>
5. Laird, J. (2013). Inverters and beyond. *Renewable Energy Focus*, 14(3), 32-36. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S1755-0084\(13\)70052-8](http://dx.doi.org/10.1016/S1755-0084(13)70052-8)
6. Nakagami, H., Ishihara, O., Sakai, K. & Tanaka, A. (2003). Performance of Residential PV System Under Actual Field Conditions in Western Part of Japan. (36762), 491-497. doi: 10.1115/ISEC2003-44228
7. OCCIDENTE, U. D. A. U. A. D. (2004). Calidad de la energía eléctrica. Retrieved from Colombia:
8. Plangklang, B., Thanomsat, N. & Phuksamak, T. (2016). A verification analysis of power quality and energy yield of a large scale PV rooftop. *Energy Reports*, 2, 1-7. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egyr.2015.12.002>
9. Rodríguez, D. Á., M. & Benítez, J. (2015). Solar Radiation Atlas for the region Cundiboyacense Colombia through radiometric data. 13th LACCEI Annual International Conference. doi: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.142>
10. Rodríguez Murcia, H. (2008). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas. *Revista de Ingeniería*, 83-89.
11. Schneider Electric. (2012). INVERSOR/CARGADOR CONEXT SW 4024 (865-4024), Guía de Instalación. In S. Electric (Ed.), (Vol. 865-4024): Schneider Electric
12. Schneider Electric. (2013). CONTROLADOR DE CARGA SOLAR CONEXT MPPT 60 150, Instalación y Guía del Propietario. In S. Electric (Ed.): Schneider Electric
13. Schneider Electric. (2014a). CONEXT ComBox (865-1058), Quick start guide. In S. Electric (Ed.), (Vol. 865-1058): Schneider Electric
14. Schneider Electric. (2014b). CONEXT System Control Panel Installation Guide (865-1050-01). In S. Electric (Ed.), (Vol. 865-1050-01): Schneider Electric.
15. Schneider Electric. (2015). INVERSOR/CARGADOR CONEXT SW (976-0315-03-01), Actualización de la documentación. In S. Electric (Ed.), (Vol. 976-0315-03-01): Schneider Electric.
16. Smets, A., Jäger, K., Isabella, O., Zeman, M. & van Swaaij, R. (2016). Solar Energy: The Physics and Engineering of Photovoltaic Conversion, Technologies and Systems: UIT Cambridge.
17. Sonnenenergie, D. G. F. (2012). Planning and Installing Photovoltaic Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers: Taylor & Francis.
18. Ueda, Y., Kurokawa, K., Kitamura, K., Yokota, M., Aka-numa, K., & Sugihara, H. (2009). Performance analysis of various system configurations on grid-connected residential PV systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 93(6-7), 945-949. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solmat.2008.11.021>
19. UO, T. U. o. O. (2007). Solar Radiation Monitoring Laboratory.
20. UPME. (2005). Atlas de Radiación Solar de Colombia. Retrieved from Bogotá, Colombia.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: octubre 10 de 2016

Aceptado: noviembre 04 de 2016

Documentos de trabajo

Actividad antimicrobiana de extractos etanólicos de propóleos obtenidos de abejas *Apis mellifera*

Antimicrobial activity of ethanol extracts of propolis obtained of bees *Apis mellifera*

*Atividade antimicrobiana de extractos etanólicos de própolis obtido abelha *Apis mellifera*.*

Boris Daniel Velasquez¹ & Sandra Patricia Montenegro Gómez²

¹Zootecnista de la Universidad Nacional de Colombia. ²Licenciada en Biología y Química. Especialista en manejo y conservación de suelos y aguas. Magister en ciencias agrarias, énfasis suelos. Doctora en Ciencias área de concentración microbiología Agrícola.

^{1,2}Centro de Investigación de Agricultura y Biotecnología-CIAB. Dosquebradas. Risaralda. Colombia.

¹boris.velasquez@unad.edu.co, ²sandra.montenegro@unad.edu.co

Resumen

Propóleos es uno de los productos de la colmena que actualmente viene ganando interés por parte de los investigadores, ya que sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, han sido ampliamente reconocidas por su capacidad terapéutica contra una variedad de patógenos humanos y animales, al igual que por su uso potencial contra varios Fitopatógenos. Los estudios demuestran que propóleos es una sustancia compleja, constituida, en promedio, por 300 compuestos diferentes, esta riqueza de compuestos está correlacionada con el origen botánico del cual se obtienen las resinas. Colombia es rica en diversidad botánica, perfilando al país con un alto potencial para obtener propóleos de excelente calidad, los cuales con estudios serios, se constituirían como alternativas novedosas para el control y el tratamiento de gran variedad de patógenos causantes de enfermedades.

Palabras-clave: fitopatógenos, antibacteriales, aplicaciones agroalimentarias

Abstract

Propolis is one of the products of the hive that is currently gaining interest from researchers, since its physicochemical and biological properties have been widely recognized for its ability to therapeutic against a variety of human pathogens and animals, as well as for its potential use against various phytopathogenic. Studies show that propolis is a complex substance, consisting, on average, of 300 different compounds, this wealth of compounds is correlated with the botanical origin of which resins are obtained. Colombia is rich in botanical diversity, outlining the country with high potential to obtain excellent quality propolis, which with serious studies, it would be as innovative alternatives for the control and the treatment of a great variety of pathogens that cause disease.

Key-words: phytopathogenic, antibacterial, agri-food applications

Resumo

Própolis é um dos produtos da colmeia que atualmente vem ganhando interesse por parte dos pesquisadores, porque suas propriedades físico-químicas e biológicas, têm sido amplamente reconhecidas com fines terapêuticos contra uma variedade de patógenos humanos e animais, assim como por seu uso potencial contra vários organismos fitopatogênicos. Os estudos mostram que a própolis é uma substancia complexa, constituída, por 300 compostos diferentes e essa riqueza de compostos

está correlacionada com a origem botânica de onde são obtidas as resinas. Colômbia é rica em diversidade botânica, perfilando o país com alto potencial para obter própolis de excelente qualidade, o que poderia se constituir como novas alternativas para o controle e tratamento da grande variedade de patógenos causantes de doenças.

Palavras-chave: fitopatógenos, antibactéria, aplicações agroalimentares

Introducción

Dionisio *et al.*, 2013, definen propóleos como una mezcla de consistencia resinosa que es producida por las abejas al combinar resinas de origen vegetal con cera, enzimas salivares propias de las abejas, entre otros, con el fin formar una barrera natural dentro de la colmena, para reducir la incidencia dentro de ella de cualquier infección. Es una sustancia que contiene gran variedad de compuestos químicos, siendo inestable dependiendo de su origen vegetal. La composición de propóleos varía según su origen botánico (Bankova, 2009), de la variedad de la abeja, de la época y de las técnicas de recolección. Existen varias técnicas para recolectar propóleos, destacándose el método de raspado y la utilización de mallas plásticas (Dionisio *et al.*, 2013). Las características geográficas y botánicas de las zonas donde se extrae propóleos, determinan en gran medida su calidad, ya que existe una relación entre los componentes de la planta con algunas propiedades físicas como el color, sabor, textura y punto de fusión.

Diferentes estudios reportan una composición cercana a 160 sustancias, siendo la mitad compuestos de origen fenólico, siendo estos últimos responsables de la acción farmacológica. Los flavonoides, ácidos aromáticos y sus ésteres, aldehídos aromáticos, cumarinas y triglicéridos fenólicos son algunos de los principales fenoles que han sido identificados (López *et al.* 2012). Múltiples reportes indican que propóleos es relativamente no tóxico y tiene

diversos efectos sobre bacterias, hongos, parásitos y virus, así como propiedades antitumorales, como cicatrizante y regenerador de tejidos (Bankova *et al.*, 2002). El estudio científico de propóleos ha permitido descifrar su compleja composición y se han entendido nuevos mecanismos de su actividad biológica que permiten su empleo en diversos campos como la medicina, la biología y la industria, ya que exhibe un amplio espectro de acciones terapéuticas, destacando la actividad antibiótica, antiviral y antiinflamatoria

Composición físico-química de propóleos

La composición de propóleos es sumamente compleja, puesto que cada región productora, tiene características agroecológicas muy diferentes que favorecen el establecimiento de una determinada flora, lo cual determina la calidad, composición y propiedades antibacteriales (López *et al.*, 2015). Dentro de las propiedades físico-químicas que se evalúan en los propóleos, es importante establecer los porcentajes de humedad, los cuales en altos valores fijarían las condiciones propicias para el crecimiento de hongos que menoscaban la calidad de esta sustancia. Igualmente es necesario establecer los contenidos de ceniza, principal indicativo de la presencia de materiales extraños dentro de propóleos, relacionado con procesos de adulteración o inadecuadas prácticas de obtención (Funari & Ferro, 2006). El contenido de ceras en porcentajes altos, es una característica indeseable ya que

limita la presencia de aquellas fracciones de interés farmacológico como los compuestos fenólicos. Otro parámetro que establece la calidad de los propóleos es la proporción de las resinas que son solubles en etanol, cuanto mayor sea el valor de esta fracción mejor será, en términos de rendimiento, y la calidad del producto final, ya que allí se encuentran los compuestos que le confieren propiedades anti fúngicas, antivirales y antibacteriales (Arrate, 2008).

Es así como propóleos de diferentes provincias de Cuba presentan bajos contenidos de humedad que varían entre 2.13 a 2.75%, contenidos de cenizas inferiores a 5%, altos contenidos de cera que van desde 45.22 a 53.25%, y sustancias extractables en etanol -resinas- alrededor de 12.82 a 15.34%. En propóleos cosechados en el bajo Cauca Antioqueño, presentan porcentajes de humedad bajo con reportes entre 2,58 a 3,14%, los cuales cumplen con las normas internacionales (< 10%), en cuanto al contenido de cenizas se reportaron valores de 0,91 a 2,33% siendo ideal valores por debajo de 5%. Para el contenido de ceras se obtuvieron valores muy variables que van desde 2,0% hasta 33%, superando en este último dato la norma internacional (< 25%) (Viloria *et al.*, 2012). En los propóleos evaluados en estas zonas, se reportaron contenidos de EEP inferiores (16.85%), de acuerdo a lo recomendado por la norma Brasileira (mínimo 35%) (Viloria *et al.*, 2012), siendo un aspecto negativo si se tiene en cuenta que en el EEP se concentran los compuestos correlacionados con la actividad biológica.

Mecanismos de acción de los propóleos

Los flavonoides presentes en los propóleos, poseen una acción directa sobre las membranas de algunas bacterias, reduciendo su capacidad de permeabilidad y haciéndola más frágil. Además los flavonoides se caracterizan por actuar de forma similar al ácido nicotínico, dándole propiedades oxido reductoras, en sinergia con el ácido ascórbico (López *et al.* 2012). Los flavonoides absorben radiación electromagnética en la zona UV-VIS y de esta forma representa una protección natural para las plantas contra la radiación solar. Esto explica el efecto protector sobre la piel de ciertos preparados a base de propóleos (Asís, 1985).

Actividad antimicrobiana de propóleos

De modo general se ha encontrado que la actividad antimicrobiana de propóleos está asociada a la respuesta de la especie microbiana (Martínez & Figueroa, 2003). Las propiedades antimicrobianas de extractos etanólicos de propóleos obtenidos de abejas *Apis mellifera*, se atribuye a flavonoides galangina y pinocembrina y derivados de los ácidos benzoico, ferúlico y cafeico. El ácido cinámico y algunos flavonoides desactivan la energía de la membrana citoplasmática, inhibiendo la motilidad bacteriana, haciéndolas más vulnerables al ataque del sistema inmunológico y potenciando los antibióticos. (Farré *et al.*, 2004). La actividad enzimática de las bacterias para reducir sus efectos sobre los sistemas biológicos es susceptible a propóleos, tanto bacterias Gram-positivas como Gram-negativas (Zeighampour *et al.*, 2013). El propóleos puede retardar el desarrollo de formación de biopelículas en diferentes grupos microbianos incluyendo *Listeria spp.*, *Streptococcus spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Bacillus spp.*, *Escherichia coli* y especies de *Pseudomonas* (Stan *et al.*, 2013). En Chile Villanueva *et al.* (2015) demostraron la efectividad antibacteriana *in vitro*, sobre 10 cepas de *Helicobacter pylori* a partir de la evaluación de 22 propóleos, de origen botánico diferente. La actividad antimicrobiana de propóleos también ha sido evaluada en control fúngico y se ha comprobado su efectividad. Los propóleos centroeuropeos (Alemania, Francia y Austria) de composiciones cualitativas similares y predominio del ácido trans-p-cumárico, muestran actividad frente a *Candida albicans*, mientras que los mediterráneos -Bulgaria, Turquía, Grecia y Argelia-, que contienen flavonoides, ésteres del ácido cafeico y ácidos ferúlicos, presentan menor actividad antifúngica. Por su parte estudios sobre la incidencia de paracoccidiomicosis (hongo causante: *Paracoccidioides brasiliensis*) en América latina, sugieren que, independientemente de su origen geográfico, los macrófagos estimulados con propóleos aumentan su actividad fungicida (Burdock, 1998). La actividad *in vitro* de agentes antifúngicos y antisépticos fueron evaluados frente a dermatofitos entre los que se encuentra el *Trichophyton rubrum*, señalando que el propóleo tuvo un comportamiento similar

a los otros medicamentos comerciales (Soares & Cury, 2001). También se ha encontrado capacidad antiviral del propóleo. En Francia Amorós *et al.* (1994), confirmaron la acción antiviral frente al herpes tipo 1 y 2, adicionalmente ante poliovirus. Establecieron que reduce la síntesis del ADN viral y que los responsables son flavonoides, que actúan en sinergismo con un éster del ácido cafeico y el ácido ferúlico.

Antecedentes en Colombia

Barragán & Ortiz (1988), recolectaron muestras de propóleos provenientes de Fusagasugá, Tunja y Neiva. Los microorganismos evaluados para establecer la concentración mínima inhibitoria -CMI- provenientes del Laboratorio de Microbiología de la Universidad Nacional de Colombia, fueron *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermis*, *Streptococcus piogens*, *Corynebacterium sp.* (2 cepas). En general los resultados de la CMI mostraron estar por debajo de 1,0 mg de propóleos por 10 ml de medio de cultivo.

Solano & Coronado (2000), seleccionaron tres tipos de propóleos de diferentes regiones de Colombia -Boyacá, Quindío y Cundinamarca-, con el fin de ser analizados por sus propiedades antimicrobianas. Los microorganismos de ensayo seleccionados fueron *Bacillus subtilis*, *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus*, *Micrococcus luteus*, *Escherichia coli*, *Salmonella tiphy*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Candida albicans*, *Aspergillus niger*, *Fusarium oxysporum*, *Mucor sp.* Moreno *et al.* (2007), tomaron cuatro muestras de propóleos: argentino, cinco colombianos y uno cubano, buscando establecer el efecto antimicrobiano *in vitro* sobre *Streptococcus mutans* ATCC 25175, principal microorganismo implicado en el desarrollo de

la caries dental. Empleando la prueba de Concentración Mínima Inhibitoria -CMI- en concentraciones 15 a 3.75 mg/ml, la totalidad de las muestras analizadas manifestaron actividad contra *S. mutans*. Las muestras colombianas presentaron mayor efecto bactericida (CMB) luego de 48 horas de exposición a propóleos y el mejor efecto inhibitorio lo presentó una muestra colombiana a un periodo de exposición de 24 horas. Herrera *et al.* (2012) realizaron en Santander un estudio experimental *in vitro* en el que se evaluó la capacidad de un extracto de propóleos santandereano obtenido en el laboratorio para inhibir el crecimiento de una cepa de *Enterococcus faecalis*. Los resultados de este trabajo de investigación, proponen al propóleo santandereano como una alternativa de uso específicamente en el área de endodoncia, dado el potente efecto frente a *E. faecalis* que es uno de los patógenos más resistentes a los desinfectantes y medicaciones intraconducto utilizados en la terapia endodóntica. Talero (2014) comparando propóleos de las regiones, Boyacá, Santander y Cundinamarca, evaluó actividad antifúngica sobre *Trichophyton rubrum*. Los resultados no presentaron diferencias estadísticas entre concentraciones de etanol al 70% y 96%), pero sí fueron altamente significativas entre departamentos, indicando mayor eficiencia en la zona de Boyacá (Figura 1). Barrera *et al.*, (2015) en el municipio de Zaragoza, Antioquia, evaluaron *in vitro* el efecto antifúngico de propóleos sobre *Colletotrichum gloeosporioides* en papaya (*Carica papaya* L. cv. Hawaiiana) bajo condiciones de poscosecha. Los resultados mostraron extensión de dos días en la aparición de daños. Adicionalmente, el tratamiento no afectó significativamente las propiedades fisicoquímicas de la papaya, en comparación con el control.

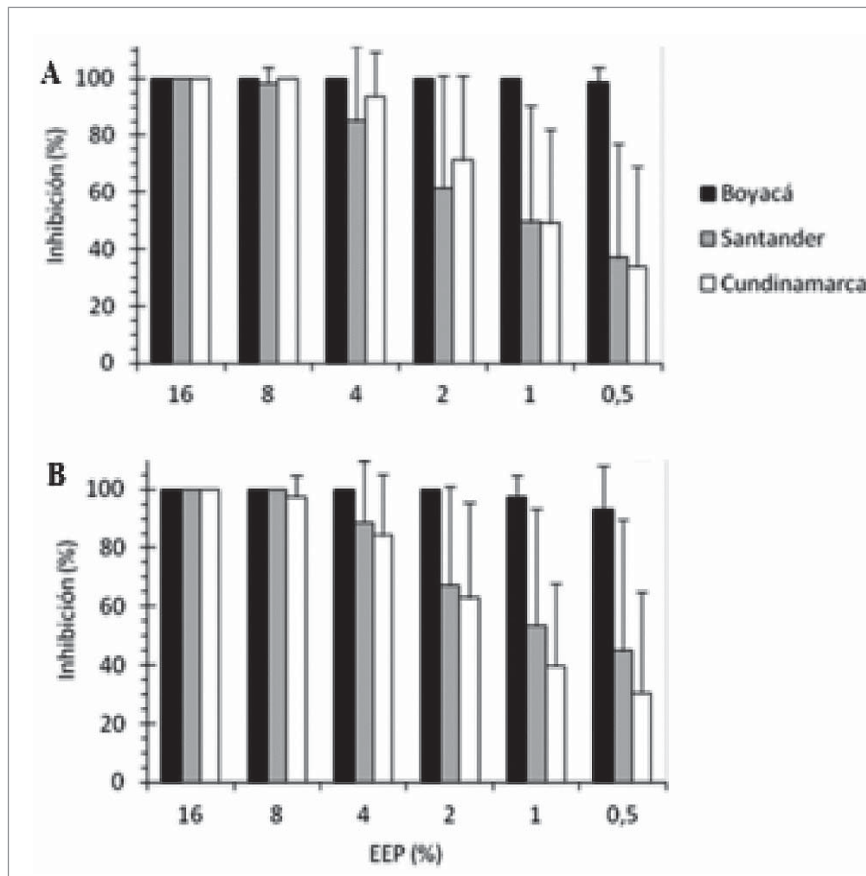


Figura 1. Porcentaje de inhibición del crecimiento de *Trichophyton rubrum* en los departamentos de Boyacá, Santander y Cundinamarca, en alcohol al 70% (A) 96% (B) en seis niveles de concentración de EEP (Extracto etanólico de Propóleo).

Fuente: Talero (2014).

Perspectivas del uso antimicrobiano de propóleos con aplicaciones agroalimentarias y en el campo de la salud.

La demostración de las características antimicrobianas de propóleos encamina trabajos de

bioprospección de diversas aplicaciones anti patógenas, se citaran algunos ejemplos relevantes asociados con interés agroalimentario y salud humana (Tabla1)

Tabla 1. Efecto inhibitorio de propóleos en diversos microorganismos de interés en el campo de la salud y sector agroalimentario

Microorganismo Inhibitorio	Efecto	Referencia antimicrobiana
Bacterias		
<i>Bacillus subtilis</i>	Alimentos: Contaminación del pan	Shahbaz <i>et al.</i> (2015)
<i>Enterococcus faecalis</i>		
<i>Escherichia coli</i>	Humanos: Infecciones gastrointestinales, sistemas urinarios, sanguíneo, nervioso	Shahbaz <i>et al.</i> (2015)
<i>Helicobacter pylori</i>	Humanos: Gastritis y úlceras estomacales	Villanueva <i>et al.</i> (2015)
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	Humanos: iinfecta pulmones y vías respiratorias, vías urinarias, tejidos, (heridas) Plantas: Putrefacción en raíces	Solano & Coronado (2000)
<i>Salmonella tiphy</i>		Solano & Coronado (2000)
<i>Staphylococcus aureus</i>	Humanos: Infecciones cutáneas y de las mucosas. Animales: Mastitis en vacas	Manrique & Santana (2008) Shahbaz <i>et al.</i> (2015), Kai <i>et al.</i> (2016)
<i>Streptococcus piogens</i>	Humanos: Farinigitis bacteriana	Barragán & Ortiz (1988)
<i>Streptococcus iniae</i>	Animales: Peces, infecciones como meningoencefalitis, lesiones de la piel, y septicemia .	Tukmechi, & Mohebbat, A. (2010)
Hongos		
<i>Candida albicans</i>	Humanos: Candidiasis afectando vagina, cavidad oral, intestino o piel	Solano & Coronado (2000)
<i>Fusarium oxysporum</i>	Diversas plantas: Coloniza y bloquea los vasos conductores, causando muerte en las plantas	Solano & Coronado (2000)
<i>Ralstonia solanaceraum</i>	Diversas plantas: Coloniza el xilema, causando marchitez bacteriana	Basim <i>et al.</i> , (2006)
<i>Paracoccidioides brasiliensis</i>	Humanos: paracoccidiomicosis	Burdock, G.A., (1998)
<i>Trichophyton rubrum</i>	Humanos: Enfermedades de la piel como pie de atleta, purito de jockey y tiña	Talero, (2014).
Virus		
<i>Poliovirus</i>	Humanos: Herpes tipo 1 y 2	Amoros <i>et al.</i> (1994)

Los recubrimientos comestibles se definen como productos comestibles que forman una fina capa sobre el alimento (Navarros, 2007), constituyen una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua que retrasa el deterioro del alimento, mejoran las propiedades mecánicas, ayudan a mantener la integridad estructural de producto que envuelven, a retener compuestos volátiles y pueden actuar como vehículo de aditivos alimentarios, tales como antimicrobianos, antioxidantes, aromatizantes y colorantes (Tanada & Grosso, 2005). La elaboración de películas comestibles es muy variable, no es universal para todos los productos, por lo que constituye un reto para el desarrollo de recubrimientos y películas específicas para cada alimento. En el caso particular de las frutas y hortalizas para consumo en fresco, los recubrimientos comestibles proporcionan una cubierta protectora adicional cuyo impacto tecnológico es equivalente al de una atmósfera modificada, representando así una alternativa a este tipo de almacenamiento (Bosquez, 2008).

Los principales componentes de los recubrimientos comestibles son polisacáridos, proteínas lípidos y resinas. Las formulaciones pueden incluir, además, plastificantes y emulsificantes de distinta naturaleza química con el fin de mejorar las propiedades de los recubrimientos. Los polisacáridos y las proteínas son polímeros que forman redes moleculares cohesionadas por una alta interacción entre sus moléculas, estos les confiere buenas propiedades mecánicas y de barrera a gases (Nisperos, 1994). Los lípidos por su naturaleza hidrofóbica, ejercen una buena barrera al vapor de agua, sin embargo, su falta de cohesividad e integridad estructural hace que presenten malas propiedades mecánicas formando recubrimientos quebradizos, la incorporación de plastificantes tiene como objetivo mejorar la flexibilidad de los recubrimientos, haciéndolos menos frágiles y la de los emulsificantes favorecer la dispersión del lípido en la matriz hidrocoloide y mejorar la capacidad del recubrimiento para impregnar al alimento y formar una capa continua en la superficie del mismo (Aguilar, 2005, Navarros, 2007).

El interés de introducir sustancias naturales como aditivos en los alimentos junto con el uso de

diversos métodos combinados para la preservación de los alimentos está creciendo rápidamente, estudios muestran una potente actividad antimicrobiana en polifenoles de diversas fuentes naturales como por ejemplo la piel de la manzana, vino tinto y propóleos (Tosi *et al.*, 2007). Investigaciones realizadas por científicos de la universidad de Arizona y del Departamento de Agricultura de EUA, encontraron buenos resultados de la actividad antimicrobiana de algunos compuestos frente a ciertas bacterias dañinas como son la *Escherichia Coli* y *Listeria monocytogenes* aplicados en películas comestibles para productos alimenticios. En otros estudios se encontró que el propóleos presentaba buenas propiedades como conservante en productos cárnicos y como germicida e insecticida en el envasado de alimentos (Han, 1995).

Conclusiones

El efecto antimicrobiano de propóleos es una gran alternativa de control sobre patologías vegetales, animales y/o humanas y sin duda contribuye a reemplazar procedimientos lesivos, hacia un control biológico que ha demostrado ser mejor asimilado, sin embargo es necesario hacer uso dosificado ya que los microorganismos en determinadas proporciones hacen parte de las comunidades comúnmente hospedadas en los seres vivos y cumplen funciones benéficas, es así como al no ejercer control moderado sobre microorganismos específicos, podría ocurrir que el uso de propóleos vulnere la comunidad microbiana benéfica asociada a los seres vivos.

Literatura citada

1. Aguilar M. M. (2005). Propiedades físicas y mecánicas de películas biodegradables y su empleo en el recubrimiento de frutos de aguacate. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Instituto politécnico Nacional. México DF.
2. Amoros M, Lurton E, Boustic J, Sauvager F. & Cormier M. (1994) Comparison of the anti-herpes simplex virus activities of propolis and 3-methyl-but-enyl caffeate. *J Nat Prod* 57: 644-647.
3. Arrate, L. (2008). Propóleos, el antibiótico natural de la colmena. *Sustrai: Revista Agropesquera* 13(85), 56-61.

4. Asís, M. (1985): "Los productos de las colmena". Ed. CIDA, La Habana, Cuba.
5. Barragán L. & Ortiz J. (1988), Estudio de la actividad biológica del propóleo. (tesis de pregrado). Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
6. Barrera, E.; Gil, J.; Restrepo, A.; Mosquera, K.; Durango, D. (2015). A coating of chitosan and propolis extract for the postharvest treatment of papaya (*Carica papaya* L. cv. Hawaiiiana). *Rev.Fac. Nal. Agr.* 68(2):7667-7678.
7. Bankova, V. (2005). chemical diversity of propolis and the problem of standardization. *Journal of Ethnopharmacology* 100 , 114 - 117.
8. Basim, E.; Basim H.; Ozcan, M. (2006) Antibacterial activities of Turkish pollen and propolis extracts against plant bacterial pathogens. *Journal of Food Engineering*, Vol.77 No.4. 992-996, doi : 10.1016/j.jfoodeng.2005.08.027
9. Bosquez, E. (2010). Desarrollo de recubrimiento comestible formulados con goma de mezquite y cera de candelilla para la conservación de frutas. Recuperado de: http://www.alimentariaonline.com/apadmin/img/upload/MA025_RECUBRIMIENTOS.
10. Burdock, G. (1998) A Review of the Biological Properties and Toxicity of Bee Propolis (Propolis) *Food and Chemical Toxicology* 36. 347-363.
11. Dionisio, R., Santana, C., Cortés, R. & Hernández, C. (2013). Actividad antifúngica de propóleos obtenidos en tres provincias de Cuba sobre hongos contaminantes en cultivos de tejidos vegetales. *Acta universitaria.* 23 (6), 6-9.
12. Farré R. *et al.* (2004.) Propolis and human health. *Ars Pharmaceutica*, 45:1; 21-43.
13. Funari, C. & Ferro, V. (2006). Análisis de própolis. *Ciência Tecnologia o Alimentos*, 26, 171-178.
14. Han, S. K. (1995). A study on the preservation of meat products by natural propolis:effect of EEP on protein change of meat products. *Journal of Animal Science*, 37, 551 - 557.
15. Herrera LV, Piscioti MH, Ramos O, Neira LF, Pinzón JR, Herrera AV. & Soto JA. (2012). Actividad antimicrobiana in vitro de un propóleo de santander sobre *Enterococcus faecalis*. *Ustasalud.* v 11: 73 - 78
16. Kai ,W., Xiao-Lu, J., Xiao-Ge S. *et al.* (2015) "Effects of Chinese Propolis in Protecting Bovine Mammary Epithelial Cells against Mastitis Pathogens-Induced Cell Damage," *Mediators of Inflammation*, vol. 2016, Article ID 8028291, 12 pages, doi:10.1155/2016/8028291
17. López A, Cabrera A, Álvarez M, & Verdun, E. (2012). Búsqueda de usos alternativos de propóleos en el control biológico de hongos fitopatógenos. Facultad de ciencias agrarias UNNE. Argentina
18. Manrique, Antonio J, & Santana, Weyder C. (2008). Flavonoides, actividades antibacteriana y antioxidante de propóleos de abejas sin aguijón, *Melipona quadrifasciata*, *Melipona compressipes*, *Tetragonisca angustula* y *Nannotrigona* sp. de Brasil y Venezuela. *Zootecnia Tropical*, 26(2), 157-166. Recuperado de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-&tIng=es.
19. Marcucci, M. C. (1995). Propolis: chemical composition, biological properties and therapeutic activity. *Apidologie.* 16, 83 – 89
20. Martínez & Figueroa J. (2003) Espectro antimicrobiano del propóleo proveniente de apiarios de la zona norte del valle del Cauca y sur del Quindío. (tesis de pregrado). FMVZ. Universidad Nacional de Colombia.
21. Moreno Z., Martínez P. & Figueroa J. (2007) Efecto antimicrobiano In vitro de propóleos argentinos, colombianos y cubano sobre *Streptococcus mutans* ATCC 25175. *NOVA - vol.5* no. 7 enero - junio: 1-100.
22. Navarros, T. M. (2007). Efecto de la composición de recubrimientos comestibles a base de hidroxipolimetilcelulosa y cera de abeja en la calidad de ciruelas, mandarinas y milojas. Universidad Politécnica de Valencia. Departamento de tecnología de alimentos.
23. Nisperos, C. A. (1994). Edible coatings and films based on polysaccharides. Protein based lms and coatings. Eds.J.M Krochta; E.A.Baldwin, M.O. Technomic Publishing Co., Inc Lancaster, U.S.A. , 305 – 335
24. Shahbaz, M. & Zahoor T.; Atif Randhawa, M.; and Nawaz, H. (2015). *In vitro* ntbacterial Activity of Hydroalcoholic Extract of Propolis against Pathogenic Bacteria. *Pakistan Journal of Life and Social Sciences* 13(3): 132-136
25. Soares M. & Cury A. E. (2001.) *In vitro* activity of antifungal and antiseptic agents against dermatophyte isolates from patients with tinea pedis. *Brazilian Journal of Microbiology* 32:130-134.
26. Solano & Coronado (2000) Actividad antibacteriana y antifúngica de propóleo nacional. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Colombia.
27. Stan T, L Marutescu, CM Chifiriuc, C Mateescu and V Lazar, (2013) Study of the antimicrobial and antibiofilm activity of romanian propolis. *Biointerface Research and Applied Chemistry*, 3: 541-550.
28. Tanada, S. P. & Grosso, C. (2005). Effect of edible wheat gluten-based films and coatings on refrigerated strawberry (*Fragaria anassa* quaility). *Postharvest Biology and Technology*, 36, 199 - 208.
29. Talero U. C. A. (2014). Actividad anti-gérmenes in vitro de extractos etanólicos de propóleos obtenido de abejas (*Apis mellifera*) en tres áreas geográficas de Colombia. (Tesis Maestría). Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia. Universidad Nacional de Colombia.
30. Tosi, A. E., Ortega, E. & Cazzoli, F. A. (2007). Food Preservative base on propolis: Bacteriostactic activity of propolis polyphenols and flavonoids upon *Escherichia coli*. *Food Chemistry* 104, 1025 - 1029.
31. Tukmechi, A., Ownagh, A. & Mohebbat, A. (2010). *In vitro* antibacterial activities of ethanol extract of iranian propolis (EEIP) against fish pathogenic bacteria (*Aeromonas hydrophila*, *Yersinia ruckeri* & *Streptococcus iniae*). *Brazilian Journal of Microbiology*, 41(4), 1086–1092. <http://doi.org/10.1590/S1517-838220100004000030>.

32. Zeighampour F, M Mohammadi-Sichani, E Shams and NS Naghavi, (2013) Antibacterial activity of propolis ethanolic extract against antibiotic resistance bacteria isolated from burn wound infections. *Zehedan Journal of Research in Medical Sciences*, 16: 25-30.
33. Villanueva, M., González, M., Fernández, H., Wilson, M., Manquián, N., Otth, C- & Otth, L. (2015). Actividad antibacteriana in vitro de propóleos chilenos sobre *Helicobacter pylori*. *Revista chilena de infectología*, 32(5), 530-535. <https://dx.doi.org/10.4067/S0716-10182015000600007>
34. Vilorio, J. Gil, H. Durango, L. & García, C. (2012). Caracterización fisicoquímica del propóleo de la región del Bajo Cauca Antioqueño. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*. Vol 10, 77-86.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: octubre 08 de 2016

Aceptado: noviembre 17 de 2016

Análisis de un modelo agroforestal cafetero en el municipio de Valparaíso, Caquetá, Colombia

Analysis of a coffee agroforestry model in the municipality of Valparaíso, Caquetá, Colombia

Análise do modelo cafetero agro-florescente no município de Valparaíso, Caquetá, Colômbia

Ismael Dussan Huaca

Ingeniero Agrónomo, Magister en Sistemas Sostenibles de Producción

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente –ECAPMA.
Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Florencia, Caquetá. Colombia

ismael.dussan@unad.edu.co

Resumen

La investigación se llevó a cabo en el municipio de Valparaíso, Caquetá, Colombia, donde se encuentra establecida la plantación de café variedad Caturra, y variedad Castillo con características tipo especial Amazónico por sus propiedades físicas y organolépticas. En el municipio de Valparaíso no existen registros sobre cultivos de café, ya que se encuentra en una zona marginal para el cultivo según la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia Fedecafé. De acuerdo con los productores, en épocas pasadas se establecieron pequeños cultivos de café para el autoconsumo, obteniendo a partir del grano una bebida de sabor y aroma exquisito, con características físico-químicas y organolépticas de un café especial; pero a estas plantaciones no les han hecho ningún seguimiento para evaluar el crecimiento, desarrollo y calidad del producto. Por lo anterior, se analizaron características morfológicas de dos variedades de café y las propiedades organolépticas y físicas del café producido en la finca el Playón de la vereda San Pedro Bocana en el municipio de Valparaíso. Se encontraron escasas diferencias morfológicas entre los individuos cultivados en el área de estudio y otras zonas cultivadoras del

país; así mismo, por las características de taza estudiadas se concluyó que en la zona se produce un café con calidad especial tipo Amazónico de acuerdo con Fedecafé.

Palabras clave: agroforestería, morfología, calidad de taza, Fedecafé.

Abstract

The research was conducted in the municipality of Valparaiso, Caquetá, Colombia, where it is established the plantation of coffee variety Caturra and variety Castle with features special type Amazon by their physical properties and organoleptic characteristics. In the municipality of Valparaiso there are no records on coffee crops because it is located in a marginal zone for the cultivation according to Federación Nacional de Cafeteros de Colombia Fedecafé. According to the producers in the past were established small coffee crop for home consumption, getting a drink of taste and exquisite aroma from grain, with physical and chemical characteristics of a special coffee; but these plantations have not made any follow-up to assess the growth, development

and quality of the product. In view of the foregoing, it was analyzed morphological characteristics of two varieties of coffee and the organoleptic and physical properties of coffee produced in the farm El Playon, vereda San Pedro Bocana in the municipality of Valparaiso. Were found few morphological differences between the individuals cultivated in the study area and other areas cultivators of the country; likewise, by the characteristics of cup studied it was concluded that in the area there is a coffee with special quality type Amazon agreement with Fedecafé.

Palabras clave: agroforestry, morphology, cup quality, Fedecafé.

Resumo

A pesquisa foi conduzida na localidade de Valparaíso, Caquetá, Colômbia, numa plantação estabelecida de café variedade Caturra e Castillo com características tipo especial Amazônico por suas propriedades físicas e organolépticas. Na localidade de Valparaíso não existe informação sobre

a cultura de café devido a que encontra-se numa zona marginal para essa cultura segundo Fedecafé. Segundo os produtores, anteriormente estabeleceram-se pequenas culturas para o próprio consumo, obtendo a partir do grão uma bebida de sabor e aroma excepcional, com características físico-químicas e organolépticas de um café especial. No entanto, as plantações não têm acompanhamento nenhum para avaliar crescimento, desenvolvimento e avaliação da qualidade do produto. Analisaram-se características morfológicas de duas variedades de café e as propriedades organolépticas e físicas do café produzido na fazenda “El Playón” da vereda San Pedro Bocana na localidade de Valparaiso. Observaram-se poucas diferenças morfológicas entre indivíduos plantados na área de estudo e outras zonas cultivadas do país. Pelas características do estudo da qualidade da xícara foi concluído que na zona é produzido café de qualidade especial Amazônico, em concordância com Fedecafé.

Palavras -chave: agroflorestal, morfologia, qualidade da xícara, Fedecafé.

Introducción

Las especies más importantes comercialmente pertenecientes al género *Coffea*, son conocidas como *Coffea arabica* L. (conocida como Arabica o Arábica) y *Coffea canephora* Pierre Ex Froehner (conocida como Robusta). La zona cafetera de Colombia abarca alrededor de 3,5 millones ha y se extiende por casi la totalidad del territorio montañoso del país, en rangos de altura que oscilan mayoritariamente entre los 1200 y los 1900 msnm, altitud en la que el cultivo crece en condiciones altamente favorables. Otros dos factores muy relevantes de la zona cafetera colombiana que potencian la excelente calidad de su café son su clima y sus suelos (FNC, 2012a). La producción agrícola es afectada por los componentes suelo, clima y manejo del sistema, los cuales al interactuar originan más de 50 factores que influyen de diferente forma en el cultivo (Lince & Sadeghian, 2016, 2016a)

En Colombia, se estima que en 2012 había aproximadamente 560.000 familias cafeteras, las cuales se enfrentaron durante las últimas tres décadas a dificultades en la producción y comercialización del café (Superintendencia de Industria y Comercio, 2012). De acuerdo con la información de la Organización Internacional del Café -International Coffee Organization, ICO-, en 2011 había 70 países productores de café en el mundo. No obstante, cerca del 55% era producido sólo por tres: Brasil, Vietnam y Colombia (OIC, 2012; OIC, 2012a; OIC, 2012b; OIC, 2012c). Existen dos tipos de café que pueden distinguirse: Arábica y Robusta.

Los cafés especiales o diferenciados hacen alusión a aquellos cafés que se distinguen de por su origen distintivo, procesamiento definido, o características excepcionales como gusto superior o cero defectos.

La FNC (2012) considera que: un café se considera especial cuando es percibido y valorado por los consumidores por alguna característica que lo diferencia de los cafés convencionales, por lo cual están dispuestos a pagar un precio superior. A nivel nacional, se da el caso de los cafés de valor agregado o especiales, incluidos los sostenibles, alcanzan mayores precios y se demandan en mayores volúmenes que el pergamino tradicional, se reconocen primas de calidad superiores, pagadas por los propios compradores, dispuestos a reconocer la apuesta y el esfuerzo adicional de los productores por la calidad.

De acuerdo con el coordinador de la Oficina del Comité de Cafeteros del Caquetá, la historia de los caficultores en este departamento, inició hace más de 50 años con la llegada de colonos del departamento del Huila, que trajeron la semilla del café de diferentes especies que se cultivaban en esa época, de esta manera se inició la producción de café en el Caquetá y lentamente se fue tecnificando la producción con el apoyo del Comité de Cafeteros, que ha logrado direccionar los recursos captados por las exportaciones y que se invierten en beneficio de los caficultores. En el departamento del Caquetá son seis los municipios productores de café: Puerto Rico, Florencia, El Doncello, El Paujil, La Montañita y San Vicente del Caguán, en cada uno de estos municipios hay una persona conocida como extensionista, que se encarga de supervisar y revisar las necesidades y problemas de los caficultores, además de gestionar y asesorar a los caficultores en la gestión de recursos para proyectos en sus regiones. En total en el Caquetá, las especies de café que se producen son 90% café caturra y 10% café común o variedad Colombia y castillo. La producción cafetera en el departamento es de dos millones de kg de café que se están comercializando anualmente, de estos un 90% es tipo exportación, convirtiendo de esta manera el café como el renglón más productivo de la región además de ser el único producto del Caquetá que se exporta, generando ingresos económicos significativos para la región. Los cafeteros del departamento del Caquetá se posicionan cada vez más como uno de los mejores exportadores del producto en Colombia, luego

de obtener el reconocimiento a nivel internacional, como café Amazónico, los caficultores caqueteños han logrado que el café producido en el departamento sea de tipo exportación más del 90% y se ha logrado comercializar en diferentes países, por medio de las conocidas Tiendas Juan Valdez.

En el municipio de Valparaíso no se registran investigaciones ni datos de cultivos de café, es por esto que se torna interesante la investigación de esta plantación con fines de producir grano de café de alta calidad con características de un café especial en condiciones adversas de producción ya que el cultivo se encuentra en zona marginal. La producción de café hasta la fecha solo se está introduciendo al municipio. Es así como, el propósito de esta investigación es analizar un modelo agroforestal cafetero a través de la caracterización morfológica de las variedades del cultivo de café y la evaluación de la calidad de taza del grano producido en el finca el Playón del municipio de Valparaíso, Caquetá, Colombia.

Materiales y métodos

Ubicación. La parcela de estudio se encuentra ubicada en la finca isla el playón de la vereda Sampeño Bocana, del municipio de Valparaíso, departamento del Caquetá, Colombia, donde se encuentra establecida la plantación de café variedad Caturra, y variedad Castillo con características tipo especial por sus propiedades físicas y organolépticas. El sistema de producción de café predominante en la parcela es con sombra. Está caracterizado por el empleo de cualquier especie arbórea permanente con una densidad superior a 50 árboles por ha, equivalente a una distancia de siembra de 14 x 14 m. También puede darse la regulación de la luz incidente por cualquier especie arbustiva semipermanente con más de 750 sitios por ha, la cual puede establecerse con una distancia de siembra de 3,7 x 3,7 m, con un arreglo espacial uniforme (Federación Nacional de Cafeteros, 1993).

Clima. El promedio de temperatura es de 25,3°C, frente a la temperatura promedio más alta alcanzada en el mes de enero que fue de 26,4°C, apenas

se presenta una variación de 1,1°C; las temperaturas más altas se observan el periodo diciembre-febrero correspondiente al periodo más seco del año. La pluviosidad promedio en la zona es de 4387,3 mm/año. El régimen de lluvias es monomodal, iniciándose en marzo y finalizando en noviembre de cada año. La evapotranspiración potencial presenta un comportamiento similar al de la temperatura, alcanza un valor total en el año de 1258,6 mm/año, siendo los meses de diciembre-febrero de cada año los de más altos valores de evapotranspiración potencial. Así mismo, se presenta un exceso de humedad en el suelo de 3128 mm/año. En cuanto a la humedad relativa en el área de estudio, el estado que normalmente presenta el aire en relación con su contenido de vapor de agua o humedad relativa, es siempre alta con cifras cercanas al 85.7% en promedio anual. Para el área de estudio la radiación solar es, en promedio, del orden de las 1.452 horas de luz al año lo que representa un promedio diario de cerca de 4 horas de brillo solar. La síntesis climática combinada entre la calificación de Koeppen, Thornthwaite y Caldas-Lang, dice que en el área de estudio el clima que predomina es la unidad Tropical Lluvioso de Selva Húmedo Antropogénico (Af-B3a) (IGAC, 1999).

Características del suelo. Los paisajes de la zona son de montaña, piedemonte, lomerío y valles con diferentes tipos de relieve; en el sistema montañoso y valles dominan los Entisoles e Inceptisoles; mientras que en los paisajes de piedemonte y lomerío se presentan Ultisoles y Oxisoles.

Caracterización de la parcela. El sistema de producción de café predominante en la parcela es con sombra. Está caracterizado por el empleo de cualquier especie arbórea permanente con una densidad superior a 50 árboles por ha, equivalente a una distancia de siembra de 14 x 14 m. El tamaño de la parcela experimental fue de 2 ha, la parcela se encontraba establecida la asociación café-plátano-maderables, con una edad aproximada de cuatro años; el café se sembró a 1,5 m por 1,5 m, plátano estaban establecidos a 3,3 m x 3,3 m y los maderables aparecen sembrados al azar, de una edad aproximada de 3-4 años.

Análisis Morfológico de las variedades de café

Para la caracterización morfológica de las variedades de café Caturra y Castillo, encontradas en la Finca El Playón del municipio de Valparaíso, se utilizara la Metodología Propuesta por la Federación de Cafeteros, (Alvarado & Ochoa, 2006.) Se evalúan parámetros de crecimiento y producción –frutos-, utilizando metro, regla, y cintas recipientes plásticos, navaja, cuchillas, palín, debidamente desinfectadas con hipoclorito; se hicieron los registros con intervalos de tiempo de 15 días durante 6 meses con el propósito de hacer trazabilidad y hacer más eficiente el proceso del cultivo de café en una zona marginal y de esta manera obtener un resultado real de la investigación.

Variables cualitativas analizadas:

- Color del cogollo: Verde claro, Verde, Verde oscuro, Verde bronceado, bronceado y rojizo.
- Forma de Copa: Plana, Redonda, Triangular (cónica).
- Arquitectura de la Planta: Numero de cruces (NC) del árbol, posteriormente se evaluaron en tres ramas bajas por cada estrato las siguientes variables:
 - Área de hoja (ARH): se midió el área foliar de las hojas de las ramas seleccionadas (largo x ancho), en cm².
 - Angulo de inserción foliar (AH): se midió en las mismas hojas utilizando un transportador.
 - Angulo de inserción de ramas (AR): Se registró en la parte media de cada rama con el mismo transportador.

De crecimiento de la planta:

- Número total de cruces (NC): se contabilizo.
- Altura (AL): medida en cm, desde la base de la planta hasta el ápice, mide con regla de 3 m.
- Diámetro del árbol (DA): medido en cm, en el sector más amplio de la planta, con una regla de 3 m.
- Número de entrenudos (NNR) y Longitud de ramas (LR): se registró en ramas intermedias.

Relacionadas con los frutos (mm):

- Longitud de frutos (LF): se evaluó en 10 frutos maduros y sanos, y se expresa en milímetros.
- Longitud de Pedúnculos (LP): se midió desde la

inserción en el tallo hasta el inicio del fruto.

- Ancho del fruto (AF): se registró en la parte más ancha del diámetro ecuatorial del fruto.
- Espesor del Fruto (EF): se registró en la parte más angosta del diámetro ecuatorial del fruto.
- Longitud del fruto (LF): tomada desde la unión al pedúnculo hasta el botón superior.
- Peso de frutos (PF): Se pesaron veinte frutos sin pedúnculo, se registró en g.

Análisis de propiedades físicas y organolépticas del café producido

Se tomaron muestras de café pergamino seco, beneficiado de acuerdo a los requerimientos de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, y se analizaron las propiedades físicas -densidad, peso de grano pergamino-; las propiedades organolépticas se evaluaron en los Laboratorios de Evaluación de la Calidad de Fedecafe a nivel nacional, quienes analizaron las muestras y dieron un concepto sobre la calidad del café producido.

Beneficio de las muestras. Se escogieron sólo cerezas sanas y maduras para el proceso, la fermentación natural se llevó a cabo en baldes plásticos durante 16 a 18 h, hasta que el mucílago se desprendió del grano; el café se lavó cuidadosamente y se secó en bandejas al sol. Durante el proceso de secado, el café se revolvió continuamente hasta humedad final del café pergamino entre el 10 y el 12%. Las muestras procedentes se procesaron y se enviaron como café pergamino, en empaque plástico al laboratorio para su análisis.

Análisis sensorial. El panel de catación de Cenicafé realizó las evaluaciones sensoriales descriptivas cuantitativas. Se calificaron las siguientes propiedades sensoriales del café: intensidad de aroma del café tostado y molido, aroma de la bebida, acidez, amargor, cuerpo e impresión global de la bebida.

Análisis propiedades Físicas. Partiendo de una muestra de 1 kg de café pergamino seco, se determinó la densidad aparente. En 100 frutos, tomados de la muestra de 1 kg, se midieron en cada uno de ellos los diámetros polar y ecuatorial, largo y ancho, y el peso.

Análisis de suelos. Al comienzo del experimento se realizaron toma de muestra de suelos para análisis de laboratorio en las tres parcelas. La determinación de las concentraciones de N, P, K, Ca, Mg, se realizó mediante Olsen Modificado y se cuantificaron por espectrofotometría de absorción atómica. La materia orgánica se determinó mediante el método de titulación Walkley-Black. El pH se determinó mediante el potenciómetro.

Resultados

Análisis morfológico de la variedad Caturra

Los ejemplares analizados de la variedad Caturra no presentan diferencias Significativas, en variables de tipo morfológico, con otros de la misma variedad reportados en otras zonas del país. La distribución de frecuencias del color del cogollo fue de un 66,5% Verde Claro; 13,5% Verde; 1,8% Verde Oscuro; 16,4% Verde Bronceado; 2% Bronceado rojizo; el Rojizo solo represento el 0,0% de las observaciones realizadas. La copa de la planta predominante fue Plana (64,2%), Redonda (32,2%) y Triangular (2,6%); estas observaciones no difieren de las reportadas por Alvarado & Ochoa (2006).

Al analizar los registros obtenidos para la Variedad Caturra, se observó que la altura de las plantas (AL) que fluctuó entre 2,1 y 2,2 m, este parámetro se relaciona con el Número de Cruces (NC) 52,9 y 54,8; por su parte las variables Diámetro de Planta (DA) alcanzo valores de 148,8-150,3 m; Longitud de ramas (LR) estuvo entre 66,9-68,8 cm; el Angulo de inserción de ramas (AR) alcanzo valores de 24-26,6° esta variable tiene que ver con la capacidad de captar radiación solar; el ángulo de inserción de hoja (AH) vario entre 33-34,4° se relaciona con la arquitectura de la planta; el Área de la hoja (ARH) estuvo entre 28,8 y 29,8 cm². Las variables relacionadas con las características de los frutos –productividad-, se comportaron de la siguiente manera: Longitud del Fruto (LF) fluctuó entre 14,4 y 15,8 mm; Ancho de fruto (AF) vario entre 14,2 y 15,6 mm; Grosor de Fruto (GF); Peso de Futo (PF) entre 2,07 y 2,12 g. Estos valores no difirieron significativamente de los reportados por Alvarado y Ochoa – Fonseca

(2006); no se encontraron diferencias Significativas entre los límites superior e inferior para cada variable analizada en la Variedad Caturra.

Análisis morfológico de la variedad Castillo

Los ejemplares analizados de la variedad Castillo tampoco presentan diferencias Significativas, en variables de tipo morfológico, con otros de la misma variedad reportados en otras zonas del país. La distribución de frecuencias del color del cogollo fue de un 33,6% Verde Claro; 13,2% Verde; 4,5% Verde Oscuro; 26,4% Verde Bronceado; 19,2% Bronceado rojizo; el Rojizo solo representó el 0,4% de las observaciones realizadas. La copa de la planta predominante fue Plana (66,6%), Redonda (26,7%) y Triangular (6,7%); estas observaciones no difieren de las reportadas por Alvarado & Ochoa (2006).

Al analizar los registros obtenidos para la variedad Castillo, se observó que la Altura de las plantas (AL) que fluctuó entre 1,85 y 1,92 m, este parámetro se relaciona con el Número de Cruces (NC) 46,8 y 46,8; por su parte las variables Diámetro de Planta (DA) alcanzo valores de 148,8-150,3 metros; Longitud de ramas (LR) estuvo entre 59,6 - 62,8 cm; el Angulo de inserción de ramas (AR) alcanzo valores

de 28,8-28,8° esta variable tiene que ver con la capacidad de captar radiación solar; el Angulo de inserción de hoja (AH) vario entre 34,2-34,9° se relaciona con la arquitectura de la planta; el Área de la hoja (ARH) estuvo entre 34 y 35,8 cm². Las variables relacionadas con las características de los frutos -productividad-, se comportaron de la siguiente manera: Longitud del Fruto (LF) fluctuó entre 14,6 y 14,8 mm; Ancho de fruto (AF) vario entre 14,4 y 16,0 mm; Grosor de Fruto (GF) 12,9-13,8 mm; Peso de Fruto (PF) entre 2,12 y 2,32 g. Estos valores no difirieron significativamente de los reportados por Alvarado y Ochoa – Fonseca (2006); así mismo los análisis estadísticos realizados no reportan diferencias Significativas entre los límites superior e inferior para cada variable analizada.

Análisis de propiedades físicas y de calidad de taza del grano

Propiedades Físicas

Al comparar los datos obtenidos por Alvarado & Ochoa (2006), y los encontrados en esta investigación, se encontró que los valores fueron similares, en la práctica estos valores están dentro de los parámetros que se utilizan para la comercialización y clasificación de la calidad del café (Tabla 1).

Tabla 1. Variables físicas del grano de café de dos Variedades encontradas en el área de estudio Finca Playón-Valparaíso (Caquetá)

VARIABLES ANALIZADAS	Uribe (1977)	Alvarado y Ochoa – Fonseca, 2006	Presente Estudio	
			Var. Caturra	Var. Castilla
Densidad Aparente (kg/m³)				
Fruto	600	621,57	589,1	602,55
Grano de café seco de agua	520	s.d	511,4	544,23
Grano de café pergamino	380	391,44	371,1	379,61
Grano de Café Almendra	680	709,99	665,7	680,88
Peso (g)				
Un fruto	2	1,99	2,02	2,2
Un grano de café escurrido	s.d	0,57	0,47	0,51
Un grano de café pergamino seco	0,22	0,21	0,19	0,19

Continuación Tabla 1

VARIABLES ANALIZADAS	Uribe (1977)	Alvarado y Ochoa – Fonseca, 2006	Presente Estudio	
			Var. Caturra	Var. Castilla
Un grano de café almendra	0,18	0,18	0,16	0,17
Diámetro (mm)				
Diámetro ecuatorial				
Fruto	s.d	14,37	15,1	15,7
Grano de café escurrido	s.d	8,8	9,25	9,63
Grano de café pergamino	s.d	8,55	8,98	9,34
Grano de café almendra	s.d	7,11	7,47	7,77
Diámetro polar (mm)				
Fruto	s.d	15,96	14,9	15,2
Grano de café escurrido	s.d	12,38	11,56	11,79
Grano de café pergamino	s.d	12,01	11,21	11,44
Grano de café almendra	s.d	9,69	9,05	9,23
s.d= sin dato				

Fuente: Los autores con Información de Alvarado & Ochoa, (2006)

En lo relacionado con la densidad aparente (kg/m^3), para frutos presentó valores de $589,12 \text{ kg/m}^3$ para la variedad Caturra, siendo ligeramente inferior a la Variedad Castillo que alcanzo valores de $602,55 \text{ kg/m}^3$, valores cercanos a lo reportado por los autores mencionados. En general la Variedad Castillo presenta valores de Densidad Aparente Superiores a la Variedad Caturra, sin que las diferencias sean significativas. En la Variable Peso de fruto, se observa una tendencia similar, si bien los frutos alcanzan pesos mayores a los obtenidos en otras partes del país, este peso no se ve reflejado en el peso del café seco de agua, o pergamino seco, o peso de café almendra, en general los granos de café obtenidos en el área de estudio tienden a ser más pequeños y de menos peso que los observados en otras partes del país. No se encontraron diferencias significativas entre las dos variedades de café analizadas para la variable peso de fruto. Al analizar los diámetros ecuatorial y polar de los granos la tendencia es similar. No se observa diferencias significativas entre las variedades analizadas

ni entre los valores observados, tanto a nivel de la zona estudiada ni frente a los valores reportados en otras partes del país.

Propiedades organolépticas y de calidad de taza del café

De acuerdo al resultado obtenido por las dos muestras enviadas a los laboratorios de catación de La Federación de Cafeteros de Colombia, a través de la Cooperativa de Caficultores del Caquetá-Cocafica, entidad que colaboró en la realización de los respectivos análisis, se encontró que el café de la zona aplica para ser considerado como un Café Especial por Sabor y Aroma.

El reporte encontró:

Acidez: baja
Cuerpo: medio
Aroma: herbal
Notas picantes.

Discusión

Las variedades de café Caturra y Castilla son variedades estables y uniformes lo cual conlleva a que presenten poca variación en los parámetros morfológicos estudiados. La baja altura de las dos variedades estudiadas se constituye en uno de sus atributos principales por cuanto permite implementar altas densidades de siembra, lo cual podría generar mayor producción. De acuerdo con Alvarado & Ochoa (2006), las variedades de café cultivadas en Colombia provienen de cruzamientos entre variedad Caturra -porte bajo-, y el Híbrido de Timor -porte alto-, resistente a la roya del cafeto, por lo cual se generan diferentes materiales de los cuales se prefieren aquellos de baja altura pero resistentes a la enfermedad, como lo son la variedad Colombia y la variedad Castillo, las cuales son variedades de alta producción adaptadas a diferentes ambientes.

El tamaño del fruto y el peso del grano de café son variables que se pueden ver afectadas por las características agroecológicas y de manejo aplicadas al cultivo. De acuerdo con Alvarado & Ochoa, durante los últimos años CENICAFE se ha comprometido con incrementar el tamaño de los frutos y de los granos de café, para lo cual ha realizado trabajos intensivos de mejoramiento genético y selección de progenies. Es así como se ha logrado incrementar el peso de los frutos de 1,67 g a 2,2 g lo que representa un incremento del 32% (Alvarado & Ochoa, 2006).

De acuerdo con los resultados obtenidos el café de las dos variedades analizadas, aplica para Café Especial por sabor y aroma. La calidad del café está determinada por sus propiedades físicas y organolépticas. Los principales factores que determinan la calidad del café son los siguientes: la especie, la madurez, la fermentación, el secado, el almacenamiento, la tostación y el método de preparación de la bebida influyen en la composición química y en la calidad del sabor, acidez, cuerpo, amargo, dulce y aromas de una taza de café (Puerta, 1998).

Conclusiones y recomendaciones

Con los datos obtenidos y análisis realizados se logró rechazar las hipótesis nulas, según las cuales las variedades de café presentes en el área de estudio, se comportan de manera diferente a las mismas variedades presentes en otras zonas cafeteras del país. Se logró demostrar que el comportamiento de las variedades en cuanto a parámetros morfológicos es similar, con pequeñas diferencias en cuanto a tamaño del fruto y peso del grano –almendra-. De igual manera, se logró demostrar que el café producido aplica a un café especial amazónico por sabor y aroma de acuerdo a la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Quedo evidenciado que calidad del café obtenido se logra mediante las particularidades brindadas por las condiciones de clima, suelo, y manejo realizado al sistema de producción en el área de estudio, considerando que las variedades de café cultivadas no presentaron diferencias en comportamiento agronómico frente a otras zonas cafeteras colombianas.

Literatura citada

1. Alvarado G. & Ochoa, H.E. (2006). *Avances Técnicos Cenicafe* No. 57(2), 100-121.
2. FNC (2012). Nuestros cafés especiales. Recuperado de: http://www.federaciondecafeteros.org/clientes/es/nuestra_propuesta_de_valor/portafolio_de_productos/nuestro_cafe_especial/
3. FNC (2012a). Reporte de sostenibilidad 2012. Un desafío desde la semilla a la taza. Bogotá, 148 p.s y Membia – Asesoría Económica Gerencia General de Comunicaciones y Mercadeo.
4. Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC. (1999). Paisajes Fisiográficos de Orinoquia-Amazonia (ORAM) Colombia. *Análisis Geográficos Nos. 27 – 28*. Bogotá, D. E.
5. Lince, S., L.A. & Sadeghian, K. S. (2016). La Producción de café (*Coffea arabica* L.) en función de las propiedades del suelo, en dos localidades de Quindío, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7 (1) enero-junio, 71-82. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1547/1858>

6. Lince, S., L.A. & Sadeghian, K. S. (2016a). La Producción de café (*Coffea arabica* L.) en respuesta al manejo específico por sitio de la fertilidad del suelo. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7 (2) julio-diciembre, 25-37. Recuperado de: <http://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1555/1902>
7. OIC (2011). Reglamento de Estadística de Precios Indicativos. Londres: OIC.
8. OIC (2012a). Obstáculos al consumo. Londres: OIC.
9. OIC (2012b). Reexportaciones de café. Londres: OIC.
10. OIC (2012c). Estadísticas. Recuperado de. http://www.ico.org/trade_statistics.asp
11. Puerta Q., G.I. (1998). Calidad de taza de las variedades de *Coffea arabica* L. cultivadas en Colombia. *Cenicafé* 49(4):267-278.
12. Superintendencia de Industria y Comercio – Grupo de estudios económicos. (2012). Estudio sobre el sector del Café en Colombia. Bogotá, 153 p.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: octubre 12 de 2016

Aceptado: noviembre 18 de 2016

Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica*) en la remoción de contaminantes

Use of the common sponge (*Luffa cylindrica*) in the removal of contaminants

Usando a bucha comum (*Luffa cylindrica*) na remoção de contaminantes

Ricardo Ignacio Pereira Martínez¹, Juan Fernando Muñoz Paredes²
& Diego Hernán Peluffo Ordoñez³.

¹Ingeniero industrial, Estudiante de maestría en Ingeniería Ambiental. ²Ingeniero Químico, MSc en Ingeniería Ambiental. ³Ingeniero Electrónico, magister en Ingeniería y PhD en Automatización Industrial.

¹Grupo de investigación ESLINGA de Ingeniería Industrial. Universidad Cooperativa de Colombia. Pasto. Pasto Colombia. ²Facultad de Posgrados y Relaciones Internacionales Universidad Mariana. Pasto. Colombia. ²Grupo de investigación GIA - Grupo de Investigación Cambio climático y sostenibilidad. Universidad Mariana. Pasto. Colombia. ³Universidad Técnica del Norte. Ibarra. Ecuador.

¹ricardo.pereira@ucc.edu.co, ²juanfemp@hotmail.com, ³diegohp@gmail.com

Resumen

Interesa a la ingeniería, el desarrollo biotecnológico de técnicas de tratamiento de agua para la remoción de contaminantes, aprovechando las propiedades de las fibras de *Luffa cylindrica* (FLc). Así lo exponen los argumentos explicados en varias investigaciones realizadas en todo el mundo en las que se describe un sugestivo escenario de razones válidas para considerar a la fibra del estropajo, como un material industrialmente promisorio y sostenible, apto para la realización de tratamientos de remoción de contaminantes y en la separación de sustancias inmersas en matrices fluidas. También explican la utilización de las fibras como matriz inmovilizadora para sostener comunidades microbianas activas implantadas con fines específicos; incluso, al comprender la arquitectura y las propiedades mecánicas de las FLc, se explora su utilización como agregado en la obtención de materiales compuestos,

en la producción de nuevas sustancias y su capacidad para retener humedad. De modo que el enfoque en el que se ha interesado el presente trabajo se refiere a la descripción de los procesos de adsorción e inmovilización en los cuales se ha involucrado a las FLc haciendo una revisión de experiencias investigativas. A la vez se estudian, los razonamientos que han permitido describir las técnicas y que posibilitan el aporte de soluciones al problema de la remoción de contaminantes y del tratamiento de agua.

Palabras clave: biofiltro, estropajo, adsorbente, esponja vegetal, fibras, nanofibras.

Abstract

It is in the interest of the engineering, the biotechnological development of techniques for the treatment of water for the removal of contaminants, taking

advantage of the properties of the fibers of *Luffa cylindrica* (FLC). So exposed the arguments explained in several investigations carried out throughout the world in which describes a suggestive scene of valid reasons to consider the fiber of the sponge, as a material industrially promising and sustainable, suitable for the realization of removal treatments of contaminants and on the separation of substances immersed in arrays fluid. They also explain the use of fibers such as array immobilising to sustain microbial communities active implanted with specific purposes; even to understand the architecture and the mechanical properties of the FLC, explores its use as an aggregate in the obtaining of composite materials in the production of new substances and their capacity to retain moisture. Therefore, the approach that has been interested in the present work refers to the description of the description of the processes of adsorption and immobilization in which has been involved in the FLC doing a review of experiences research. At the same time, the reasons that have allowed describe techniques and that makes it possible to provide solutions to the problem of contaminant removal and treatment of water, are studied.

Key-words: biofilter, scourer, adsorbent, sponge vegetable fibers, nanofibers

Resumo

É de interesse da engenharia o desenvolvimento biotecnológico de técnicas de tratamento de águas para remover contaminantes, aproveitando as propriedades das fibras de *Luffa cylindrica* (FLC). É assim que têm sido mostrado em numerosas pesquisas ao redor do mundo, onde é descrito um sugestivo cenário de vários argumentos para considerar a fibra da bucha como material industrialmente promissor e sustentável para a realização de tratamentos para remover contaminantes e separar substancias submersas em matrizes fluidas. Também explicam o uso das fibras como imobilizadores de comunidades microbianas ativas com uma finalidade específica. Ao compreender a arquitetura e as propriedades mecânicas das FLC, explora-se seu uso como agregado na obtenção de materiais compostos, na produção de substâncias novas e sua capacidade para reter umidade. Nesse contexto, o foco do deste trabalho é a descrição dos processos de adsorção e imobilização onde involucram-se as FLC, fazendo uma revisão das experiências de pesquisas. Ao mesmo tempo, é feito o estudo das bases que têm permitido descrever as técnicas e que possibilitam soluções ao problema de remover contaminantes e do tratamento da água.

Palavras-chave: biofiltro, bucha, adsorvente, esponja vegetal, fibras, nanofibras.

Introducción

Además de la revisión de los conocimientos alcanzados por las investigaciones dedicadas a evaluar la aplicabilidad de las fibras de *Luffa cylindrica* FLC en diferentes tratamientos de remoción de igualmente diversos tipos de contaminantes, este artículo, al efectuar un estudio metódico de las publicaciones científicas del ámbito internacional, ha pretendido hacer un recuento de investigaciones dedicadas al estudio de las FLC en la remoción de contaminantes y recopilar sus resultados, para exponer, con un estilo descriptivo, las aplicaciones metodológicas de los tratamientos, las técnicas analíticas y los resultados alcanzados; de manera que la finalidad última de esta investigación de revisión sea la difusión del conocimiento referente

a la eficiencia de los procesos y a las conclusiones experimentales en la cinemática de remoción de contaminantes empleando a las FLC como agente reductor o portante según sea cada caso.

También se han indagado experiencias dedicadas a conocer la estructura y propiedades físicas de las fibras, procurando con ello, comprender las virtudes y características del material a la vez que se escruta una posible relación entre la estructura y los fenómenos ocurridos durante los tratamientos de remoción estudiados, de manera que se puedan inferir nuevas hipótesis y preguntas en torno al estudio del material fibroso. Finalmente se ha encontrado que a la luz de

las experiencias científicas referidas, los argumentos expuestos, respaldan la utilidad potencial que tienen estas nano-fibras en los procesos de remoción de contaminantes complejos de manera sostenible y sustentable; se estima a las FLc como un material con alta utilidad práctica para la industria y la sociedad; necesidades que justifican el quehacer investigativo sobre la capacidad de la *luffa* para remover más sustancias del inventario de contaminantes y aplicar sus resultados al diseño de instrumentos de separación y tratamiento, con aplicación industrial, doméstica y social.

Metodología

Para la adecuada revisión del tema relacionado con los tratamientos de remoción de contaminantes, utilizando las fibras de *Luffa cylindrica*, se han tamizado 48 artículos científicos que fueron publicados por investigadores adscritos a universidades, institutos o centros de investigación de todo el mundo, en idioma inglés, español y portugués, disponibles en revistas científicas de reconocido prestigio y confiabilidad internacional con disponibilidad virtual, seleccionando los artículos producidos con posterioridad al año 2000, aunque vale aclarar la excepción hecha con el trabajo publicado por Liu, Seki, Tanaka & Furusaky en 1998. También se estudiaron algunos artículos relativos a la botánica de la *luffa*, la estructura del estropajo y las propiedades mecánicas de las FLc.

Rasgos botánicos, estructurales y mecánicos de las FLc.

Comúnmente llamada “estropajo”, esta planta es miembro de la familia de las cucurbitáceas en las que se reconocen siete especies del género *Luffa* (Shapiro, 2012). Sus hojas alternas y palmadas son lisas con bordes dentados y la flor es de color amarillo. La planta es que es monoica (UNAD, 2013) y sus frutos son una calabaza lisa, oblonga en forma de cilindro que tiene entre 40 a 70 cm de largo que exhibe líneas verticales en su exterior. En su mesocarpio se forma una intrincada redícula fibrosa constituida por lignocelulosa que es la parte típicamente útil de la planta (*Luffa*. info, 2014). El estropajo es una importante planta que provee de alternativas de aplicación diversas en salud (Azeez, Bello, & Adedeji, 2013) y que plantea promisorias utilizaciones en la tecnología de los materiales (Shen, Xie, Huang, Zohu, & Ruan, 2013).

Investigaciones dedicadas al estudio de la morfología del estropajo (Figura 1) reportaron datos dimensionales similares de las fibras que inducen a pensar que podría existir una importante relación entre la forma y la estructura de la fibra con sus propiedades adsorbentes y mecánicas; supuesto que resulta muy pertinente con la tecnología que pretende el aprovechamiento de la esponja, de allí la importancia de su descripción.



Figura 1. Morfología estructural de las FLc crudas.

Se describe que la esponja de FLc, superpone una serie de tres capas fibrosas, flexibles y fuertes que se unen en mediante puntales esponjosos longitudinales a un tallo central formando por una estructura

ramificada de fibras más gruesas (Cifuentes & Patativa, 2013). Las fibras de la capa externa tienen una longitud media de 1 mm que se extienden densamente transversales al eje del fruto; mientras que

las fibras del tallo central -capa interior-, son más largas próximas a los 5 mm que se extienden desde su centro hacia la capa exterior pasando por una capa intermedia de unión (Shen, Yi, Huang, Zhou, & Ruan, 2012). Las fibras, se aprecian formadas por un entramado de micro-tubos coriáceos caracterizados por una estructura celular de micro canales continuos huecos con diámetros que varían entre 10 y 20 μm , formando haces vasculares que producen un sistema poroso complejo y extenso (Figura 2) (Altinisk, Gür, & Seki, 2010). La superficie tubular exhibe finos filamentos que se extienden longitudinalmente sobre el eje de la fibra (Figura 3) (Kaewta & Thongmee, 2012).

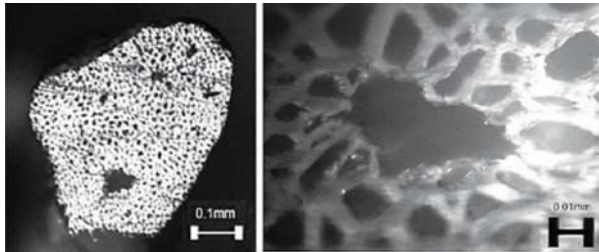


Figura 2. Corte transversal de una fibra de Luffa a 0,1 mm y vista de estructura nanotubular a 0,01 mm

Fuente: Shen *et. al.*, (2012).



Figura 3. Apariencia superficial de las FLC.

Sostienen además Cifuentes & Pataquiva que debido a la estructura fibrosa y porosa de las fibras, las esponjas son propensas a adquirir fácilmente impurezas del ambiente. Además, su superficie

rugosa y con escamas, facilita la retención de iones metálicos (Lindino, Marciniak, Gonzales Jr., & Strey, 2014). A estas características se le atribuyen las propiedades adsorbentes que facilitan su uso en las pruebas de remoción y de inmovilización microbiana (Figura 4) (Akhtar, Iqbal, & Iqbal, 2004).

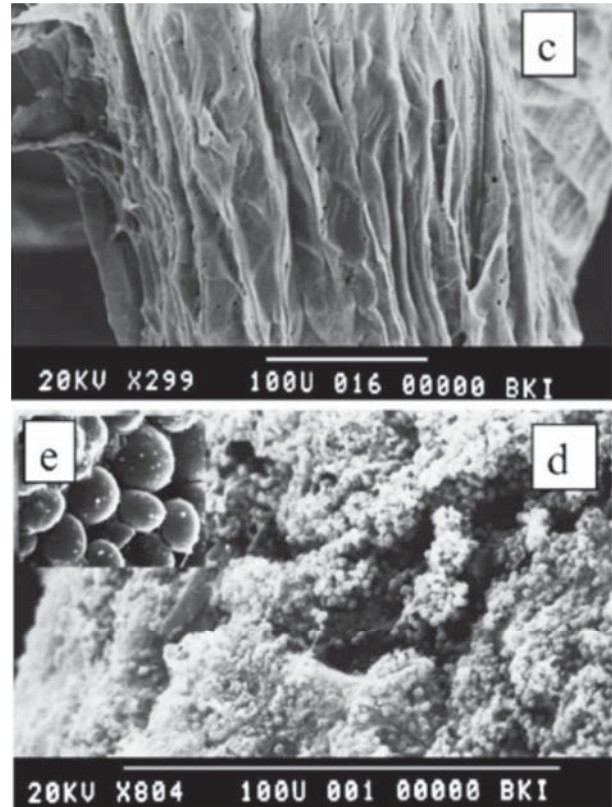


Figura 4. Imagen microscópica de la superficie de las fibras que han inmovilizado partículas metálicas de níquel II (arriba). Algas del género *Chlorella sorokiniana* inmovilizadas adheridas a la fibra. Fuente: Akhtar, Iqbal, & Iqbal, (2004).

También se reporta que el tratamiento de NaOH al 2% mejora la rugosidad superficial de las fibras (Tanobe, Sydenstryker, Munaro, & Amico, 2004) Igualmente el Instituto Indio de Tecnología de Roorkee, informó sobre el desarrollo de un tratamiento a base de microondas para modificar la textura de las FLC para su posterior aplicación en la adsorción de sustancias (Kumar, Pathania, & Sharma, 2014).

Estudios relacionados con las propiedades mecánicas de las FLC, han determinado que la densidad de las FLC depende de la capa esponjosa a la

pertenecen, oscilando su valor entre 350 y 650 kg/m³, (Shen, Yi, Huang, Zhou, & Ruan, 2012). Concluyen los mismos investigadores, que las propiedades mecánicas de las FLC son influenciadas principalmente por el grado de humedad presente en el interior de la fibra y agregan que también lo están por su aspecto superficial (Kaewta & Thongmee, 2012), el cual puede modificarse exponiendo la fibra a soluciones de NaOH, que al desprender su capa externa deja expuesta la superficie rugosa de la fibra lo cual maximiza su interacción superficial con las sustancias en tratamiento y haciendo que la fibra actúe como un material de celda abierta de espuma adsorbente (Boynard, Monteiro, & d'Almeida, 2002).

Experiencias en el estudio de las propiedades adsorbentes de las FLC.

En diferentes condiciones de tratamiento, se han puesto a prueba las FLC como elemento adsorbente para remover sustancias de prueba en diferentes matrices fluidas, generalmente agua, con la finalidad de evaluar su eficiencia de remoción y los fenómenos asociados al proceso. A la propiedad adsorbente de las FLC, se le atribuye la capacidad de remoción por intercambio protónico de metales pesados, por cuanto las fibras interactúan electrostáticamente con el oxígeno libre producto de la protonación de las moléculas de las sustancias en proceso, los electrones libres de los aniones metálicos presentes y los iones libres de las mismas sustancias; constituyéndose este fenómeno en el principal mecanismo de adsorción (López, Vasquez, Suárez, & Gómez, 2012)

La bio-adsorción es un proceso de separación de equilibrio bien conocido y un método eficaz para aplicaciones de descontaminación de agua (Oboh & Alyour, 2009). En este sentido la *Luffa cylindrica* es un material ligno-celulósico que se puede utilizar como bio-adsorbente debido a la acción de su sistema vascular fibroso que permite la eliminación de contaminantes del agua, incluidos tintes, metales y sales disueltas (Ye, Hu, & Wang, 2013), y por la protonación de sus fibras que permite la retención de radicales químicos. La capacidad de inmovilización de microorganismos interactuando con las fibras en la remoción de sustancias orgánicas y minerales

no metálicas está ampliamente referenciada, siendo este un tema que se tratará más adelante por cuanto el fenómeno de remoción está asociada a la acción de los microorganismos implantados como residentes en las fibras más que a las propiedades individuales de la *luffa*. Estas características hacen que se puedan considerar a las FLC como un bio-material promisorio para la producción de elementos de utilidad industrial tales como filtros y membranas, según lo sostienen López, Vasquez, Suárez, & Gómez (2012). De éste modo los resultados de las investigaciones revisadas concluyen en general, que las fibras de la *Luffa cylindrica* tienen alta y probada capacidad para retener sustancias contaminantes.

Reportan Adie, Igboro & Daouda (2013), desde el Departamento de Ingeniería Civil del Politécnico de Kaduna en Nigeria, que se experimentó un filtro piloto a base de *Luffa cylindrica* para observar la eficacia filtrante de la esponja, en un proceso constituido por cuatro etapas arregladas en serie y con diferencial de densidad en dirección del flujo del agua de prueba; concluyendo el reporte con la evidencia de una alta eficiencia hidráulica de la esponja en un filtro horizontal, con una capacidad del 80% en la inmovilización de microorganismos, una moderada capacidad del 48,33% en la eliminación de TSS resultando en una remoción de turbidez del 18,15%, del 10% de la dureza, el 16% en cloruros, 16,66% para el nitrógeno amoniacal y ninguna afectación a la alcalinidad moderadamente ácida. Reporta también el mismo estudio, una alta eficiencia en la retención de metales pesados, atribuyendo los anteriores resultados a la porosidad y morfología de las fibras.

Por su parte la remoción de iones metálicos está más asociada a las propiedades adsorbentes de las fibras. En la experiencia realizada por el departamento de ingeniería química de la Universidad de Benin en Nigeria, en la etapa pos-tratamiento de aguas residuales contaminadas con hidrocarburos, se experimentó con una capa de fibra desmenuzada de *Luffa cylindrica*, en la que se pudo determinar que los porcentajes de eliminación de los iones metálicos presentes en el agua de la muestra se

estimaron en el 92,31%, 88,64%, 85,71% y 66,67% para Cr³⁺, Zn²⁺, Pb²⁺ y Cd²⁺, respectivamente (Aluyor, Oboh, & Adhu, 2009). Vale destacar que los iones relacionados corresponden a metales pesados altamente tóxicos y difíciles de disponer. El mismo estudio pudo establecer que también hubo reducción de los iones de sulfato en un 1,32%, de THC (tetrahidrocanabitol) en un 7,31%, en la salinidad en un 4,79% y por tanto la conductividad del agua en un 4,08%. Datos que resultan similares con los reportados por Adie, Igboro & Daouda en 2013.

En otro experimento de remoción con FLC, se utilizó sulfato de cobre y azul de metileno, se analizó la capacidad de adsorción del cobre y la capacidad de regeneración de la fibra, con satisfactorios resultados en ambientes ligeramente ácidos cercanos a pH 5 (Laidan, Hanini, & Henini, 2010). En esta experiencia, llama la atención el seguimiento de la metodología utilizada por Altinisk, Gür, y Seki, en cuanto a que se aplicaron los modelos de Langmuir y Freundlich que produjeron isothermas que explican satisfactoriamente la eficiencia de remoción del metal, la cinemática y la termodinámica del proceso, resultados que también fueron logradas en la remoción del verde de malaquita (Altinisk, Gür, & Seki, 2010) y de azul de metileno (Demir, Top, Balköse, & Ülkü, 2005). Se destaca que en ambos experimentos, la esponja es tratada con NaOH para su preparación y posterior desmechado en fibras de 1 a 2 mm; proceso que también explicaron Boynard, Monteiro, & d'Almeida, al referirse a las interacciones superficiales de las fibras puras y sus propiedades en la obtención de materiales compuestos, que a su vez facilitan la retención de iones metálicos por adsorción electrostática con la rugosa superficie fibrosa en la remoción de iones de cadmio (II) (Shajidi, Jalilnejad, & Jalilnejad, 2013) y en otras descripciones alternativas a la remoción del mismo metal (Purkayastha, Mishra, & Biswas, 2014). La *Luffa cylindrica* es un material natural que posee una tasa de retención de los iones de Cadmio en su superficie del 99,80% a un pH 5.0 en procesos de percolado, aunque es del 89,6% cuando las fibras se someten a agitación mecánica (Lindino, Marciniak, Gonzales Jr., & Strey, 2014).

Otras investigaciones se han dedicado a observar la capacidad y los procesos de adsorción de la *Luffa cylindrica* al remover compuestos orgánicos complejos. En 2007 se reportó el uso de carbón activado de FLC en la remoción eficiente de reactivo naranja (RO) de una solución acuosa (Abdelwahab, 2007); en la Adenkule Ajasin University de Nigeria se reporta una eficiencia del 91% en la remoción de azul de metileno de aguas contaminadas y utilizando las FLC (Oladoja, Aboluwoye, & Akunkugbe, 2008) y en 2009 la Universidad de Alejandría publicó a través del Journal of Environmental Management, los resultados de su investigación en la remoción de colorante azul 106 de una solución acuosa utilizando carbón activado de *Luffa egyptaca* (Sayed & Ashtoukhy, 2009).

En 2010, la Dokuz Eylül University de Turquía, reporta que al experimentar exitosamente las propiedades de la *Luffa cylindrica* en la remoción del verde de malaquita de una solución ligeramente ácida de agua (Altinisk, Gür, & Seki, 2010), se realizó un tratamiento previo de las FLCs con NaOH al 1%, se evaluaron las variables de temperatura, pH y tiempo de contacto y se estudió la cinemática del proceso; corroborando que uso del hidróxido de sodio en la preparación de las fibras provee de adecuados resultados para los fines adsorbentes del proceso tal como lo habían reportado Tanobe, Sidenstriker, Munaro & Amico en 2004. También se determinó que la cinemática de la reacción es de segundo orden, estableciendo que el modelo que mejor se ajusta es el de Langmuir y Freundlich. Aspectos que habrían sido analizados por varias de las investigaciones de remoción con *Luffa* antes mencionadas y que se seguirán reportando por otros investigadores posteriores también citados en esta revisión.

Continuando con los tratamientos de remoción de colorantes, en Argelia se publicaron los resultados de un experimento de remoción de azul de metileno de aguas residuales, utilizando carbón activado elaborados a partir de FLC, en el que se reportaron eficiencias del 99% y del 82% según diferentes temperaturas (Cherifi, Fatiha, & Salah, 2013), mientras que por su parte, desde el National Institute of Technology Calicut en la India, se informó

que se efectuó la retención de colorantes disueltos en el agua residual de una industria textil, utilizando despojos fibrosos de la *Luffa* (Rangbhashiyam, Anu, & Selvaraju, 2013).

Luego, en 2012, la Universidad Medea realiza una segunda experiencia en la que se estudió el proceso de adsorción estática de un sistema fenol/FLC en aguas residuales industriales (Henini, Laidani, & Hanini, 2012); antes, en el laboratorio de biomateriales y fenómenos de transporte de la Universidad Dr. Yahia Farès de Médéa en Argelia se habrían efectuado pruebas de remoción de fenol de aguas residuales, utilizando cordones de *Luffa* como un novedoso adsorbente, reportando que al inspeccionar microscópicamente las fibras vegetales, éstas se apreciaban con los poros cubiertos por fenol (Cherifi, Hanini, & Bentahar, 2008). En China, en la Henan Normal University, se realiza un experimento para remover 1-cetilpiridinio bromuro (CPB), tensoactivo empleado en la industria de la higiene oral y de fabricación de pesticidas, utilizando *Luffa cylindrica*; reportando resultados de eficiencia entre el 94,4% al 92,2% dependiendo de la superficie de contacto y la concentración del material adsorbente (Ye, Hu, & Wang, 2013); en el mismo año también en Argelia se investiga en la Hassiba Ben Bouali University en la dinámica de adsorción del Fenol en un sistema compuesto por FLC con el fin lograr la comprensión de los procesos que intervienen en la adsorción dinámica del fenol sintético removido de aguas residuales industriales, en las FLC (Henini, Laidani, & Hanini, 2012).

En Febrero de 2014 siguen interesando las investigaciones de remoción de fenol con FLC, en esta oportunidad el National Institute of Oceanography and Fisheries de la ciudad de Alejandría en Egipto reporta resultados dedicados a estudiar la cinética, la termodinámica y las isothermas de la reacción de difusión de microporos, concluyendo que la cinemática de la reacción depende de la temperatura, el tiempo de retención y el pH; y, que el modelo que mejor se ajusta a ella es el de Langmuir (Abdelwahab & Amin, 2014), concordando con muchos investigadores anteriores que reportan similares resultados. Ampliando el campo de los estudios en

adsorción de las FLC, en el laboratorio de química orgánica y bioquímica de la Université de Haute Alsace, en Francia, se demostró que las FLC son capaces de adherir nicotina del humo de tabaco (Bou-Saab, Boulanger, Schelenbaum, & Neulist, 2013); en la Universidad de Alejandría se experimentó en la retención y limpieza de aceites minerales contaminantes del agua de mar, reportando que además de haber obtenido una alta eficiencia de remoción, se observaron una excelente selectividad de la fibra para diversos aceites minerales y una excelente repelencia del agua (Abdelwahab, 2013).

Aplicación de las FLC en la inmovilización de microorganismos como sistema interactivo de tratamiento.

Una de las aplicaciones mayormente exploradas por los científicos, corresponde a la realización de procesos que involucraron la inmovilización de microorganismos en la matriz esponjosa y fibrilar. Aparte de la importante propiedad adsorbente, característica de las fibras para retener iones metálicos pesados y de separar algunos compuestos orgánicos, las fibras de *Luffa cylindrica* son útiles para la creación de lechos para alojar ecosistemas microbianos para fines específicos: En un experimento en la Universidad de Unan en China, que involucró la inmovilización del hongo de la pudrición blanca, el *Phanerochaete chrysosporium*, se logró una adsorción del 90% del Plomo (II) contaminante de una fuente de agua usada de muestra, con su consecuente desorción posterior (Xu *et al.*, 2012). Este mismo hongo se utilizó en la remoción de colorantes utilizando como referente al Remazon azul brillante, tinte reactivo muy utilizado en la industria textil (Iqbal & Saed, 2007), de igual manera en otra publicación, el investigador reportó que el mismo sistema es muy eficiente en la remoción de iones de Plomo (II), Cobre (II) y Zinc (II) (Iqbal & Edyvean, 2003). Un grupo de investigadores taiwaneses y chinos, mediante la inmovilización del micro-alga *Scenedesmus dimorphus*, efectuaron experimentos de remoción de cadmio en agua, siendo otro aspecto muy interesante de esta investigación, el estudio que hace sobre las mejores condiciones de crecimiento celular en el soporte de esponja, para lograr un óptimo de remoción del metal

(Chen *et al.*, 2014). Inmovilizada en las FLC, se ha utilizado el alga verde unicelular *Chlorella sorokiniana*, en un tratamiento para la remoción de cadmio (Akhar, Saeed, & Iqbal, 2002); posteriormente, se utilizó el mismo sistema, en la remoción de Cromo (III) de aguas residuales industriales. Las investigadoras pakistaníes de esta investigación determinaron que el alga no solamente es eficiente en la remoción de Cr (III), sino que también establecieron que cuando está inmovilizada en FLC, la retención pasa de 4,97 mg/g a un máximo de 69,26 mg/g (Akhtar N. , Iqbal, Zafar, & Iqbal, 2007).

Vale destacar que aparte de las referencias citadas, se han revisado otros reportes que describen experiencias de remoción de varios de los metales antes mencionados con la participación de micro-algas y hongos, llamando especialmente la atención de los investigadores, los tratamientos para remover cadmio. En otro ámbito, un grupo de investigadores mejicanos, experimentó la remoción de los plaguicidas organofosforados paratión metílico y coumafós, utilizando un consorcio bacteriano aislado de una muestra del suelo agrícola tomada en el estado de Morelos, en la región central de México y que fue cultivado en *Luffa cylindrica*. La experiencia reporta que se logró una eficiencia de remoción del 98% y del 100%, causado por el efecto combinado entre la actividad de los microorganismos, la adhesión a las células bacterianas y la adsorción al material de soporte, pues en pruebas hechas al consorcio bacteriano y a las FLC por separado, los resultados fueron similares en aproximadamente el 54.88 % y 62 % para el Paratión y el coumafós respectivamente (Moreno-Medina, Sánchez-Salinas, & Ortiz-Hernández, 2013), utilizando *Chrysosporium phanerochaete* inmovilizado en *Luffa*, sistema ya estudiado en la remoción de metales. También se reporta la remoción de aceite de oliva de aguas residuales (Ahmadi, Vahabzadeh, Bonakdarpour, Mehranian, & Mofarrah, 2005).

La característica fibrosa y nano-tubular de las FLC se comportan de manera similar a las propiedades capilares y adsorbentes de algunos materiales sintéticos desarrollados para emular algunas de propiedades selectivas de los materiales naturales; así

lo reportan Liu, Seki, Tanaka, & Furusaky (1998) al comparar las eficiencias de remoción de las FLC con otras fibras sintéticas de poliuretano, prueba en la que se demostró una alta efectividad por parte de las fibras de diferentes secciones de la *luffa* para inmovilizar las sustancias de prueba, respecto de las capacidades de las fibras de poliuretano.

En el Instituto de Biodiseño de la Universidad Estatal de Arizona en Estados Unidos, se diseñó una membrana sintética, que dio origen a una tecnología de tratamiento de agua denominada MBfR (*Membrane Biofilm Reactor*). Esta membrana adsorbente, es capaz de retener sustancias minerales en sus microporos para facilitar los procesos de protonación liberadores de H⁺; siendo que la especialidad particular de la MBfR es la de alojar a una comunidad sana de microorganismos dedicados a la degradación de sustancias orgánicas, haciendo muy completo el tratamiento para la potabilización de agua en el que han sido aplicadas (Arizona State University, 2013). Estas membranas MBfR son de muy reciente desarrollo sintético, sin embargo la propiedad inmovilizadora de microorganismos, además de las propiedades de adsorción y de protonación, entre otras adicionales, también las posee la esponja natural; que sin duda es una MBfR natural y ancestral. Evidencia de lo anterior se puede observar en investigaciones realizadas en bio-procesos que relacionan a las FLC con microorganismos inmovilizados y procesos de obtención o de separación de sustancias, como lo han demostrado los procedimientos descritos para inmovilización de cadmio II por bio-adsorción continua con algas, la bio-adsorción de cromo (III) en aguas residuales industriales. Explica Ignacio Moreno-Garrido del instituto del Instituto de Ciencias Marinas de Andalucía (2007), que las fibras de *luffa* de diferentes especies han sido probadas en combinación con microorganismos tales como el hongo *Phanaerochaete chrysosporium* (Moreno, 2007), también se han usado la bacteria *Zymomonas mobilis* para la producción de sorbitol (Vignoli, Celligio, & Silva, 2006) y la misma inmovilizada en celdas de *Luffa* para la producción de etanol (Behera, Mohanty, & Ray, 2007). En 2006 el investigador Ruma Ganguly del Departamento de Botánica de la Universidad de Utkal en India reporta que mediante el uso del hongo *Rhizopus*

oryzae inmovilizado en FLc se produjo ácido láctico (Ganguly, Dwivedi, & Singh, 2006), incluso se han utilizado sistemas microbianos para la degradación de carbendazim y Ácido 2,4-diclorofenoxiacético (Nagase, y otros, 2007), entre otros muchos casos que podrían citarse. Finaliza Moreno Concluyendo que ya sea para fines civiles, comerciales o industriales las técnicas MBfR de inmovilización pasiva de colonias de algas en esponjas de lufa indica “ser un campo muy prometedor” (Moreno, 2007).

Conclusiones

Los tratamientos previos para la preparación de las FLc involucraron NaOH el cual mejora sus propiedades adsorbentes. La estructura fibrosa, esponjosa y nano-tubular de las fibras proveen de alta capacidad absorbente a las FLc. Las fibras son muy eficientes en la remoción de iones metálicos y de sustancias orgánicas complejas, mejorando la eficiencia del proceso, cuando se inmovilizan en ellas comunidades microbianas afines con el tratamiento.

Las FLc tienen alta capacidad de alojar comunidades de algas, hongos o bacterias. Las FLc tienen una moderada capacidad para retener sustancias minerales no metálicas en los tratamientos de desalinización. Sin embargo, esta condición mejora cuando los tratamientos se hacen por percolado longitudinal a través ductos contenedores de fibras trozadas entre 1 y 2 mm de longitud.

Los investigadores refieren una alta eficiencia en la desorción de las fibras, de minerales y de metales, en un caso; o en la mineralización de compuestos orgánicos en otro; como tratamiento posterior a la remoción. En los tratamientos reportados, la obtención de las isothermas para el análisis de las eficiencias de remoción, la cinemática del proceso y su termodinámica, se reportaron con mejores resultados aquellas que utilizaron los modelos de Langmuir & Freundlich y que consideraron reacciones de primero y segundo orden. La alta tasa de adsorción indica la viabilidad de utilizar esta biomasa en la remediación de ambientes contaminados.

Esta investigación evidencia la posibilidad de utilizar fibras de *Luffa cylindrica* para el tratamiento de agua potable y de aguas residuales industriales, destacando que sus ventajas adicionales se refieren a su economía, no toxicidad, sostenibilidad y biodegradabilidad. La *Luffa cylindrica* es un bio-adsorbente eficaz, capaz de retener metales pesados en sus nano-fibras. En este sentido, el estropajo ofrece una opción barata y tecnológicamente accesible para el tratamiento de agua potable y de aguas residuales.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento al grupo de investigación ESLINGA del programa de Ingeniería Industrial de la Universidad Cooperativa de Colombia y al programa de Maestría en Ingeniería Ambiental de la Universidad Mariana.

Literatura citada

1. Adie, D., Igboro, S., & Daouda, N. (2013). Determination of the Filter Potential of Luffa Sponge (*Luffa aegyptiaca*) in Water Quality Analysis. *American International Journal of Contemporary Research*. Recuperado de http://www.aijcrnet.com/journals/Vol_3_No_3_March_2013/11.pdf
2. Ahmadi, M. et al. (2005). Phenolic removal in olive oil mill wastewater using loofah immobilized loofahimmobilized. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. Recuperado de: <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs11274-005-9006-3>
3. Akhtar, N., Iqbal, J., & Iqbal, M. (2004). Removal and recovery of nickel(II) from aqueous solution by loofah sponge-immobilized biomass of *Chlorella sorokiniana*: characterization studies. *Journal of Hazardous Materials*. Recuperado de: www.elsevier.com/locate/hazmat
4. Altinisk, A., Gür, E. & Seki, Y. (2010). *Luffa cylindrica* for removal of a model basic dye. *Journal of Hazardous Materials. A natural sorbent*. Recuperado de: <http://www.journals.elsevier.com/journal-of-hazardous-materials>
5. Aluyor, E., Oboh, I. & Adhu, T. (2009). Post-treatment of Produced water before discharge using luffa cylindrica. *Electronic Journal of Practices and Technologies*. Recuperado de: http://lejpt.academicdirect.org/A14/057_064.pdf
6. ASU, Arizona State University. (2013). Cleaning water with nature. ASU Biodesign Institute. Recuperado de: <http://www.biodesign.asu.edu/research/projects/cleaning-water-with-nature>

7. Azeez, M. A., Bello, O. S. & Adedeji, A. O. (2013). Traditional and medicinal uses of *Luffa cylindrica*: a review. *Journal of Medicinal Plants Studies*. Recuperado de: http://www.plantsjournal.com/vol1Issue1/Issue_sep_2013/12.1..pdf
8. Behera, S., Mohanty, R. & Ray, R. (2007). Ethanol fermentation of sugarcane molasses by *Zymomonas mobilis* mtcc 92 immobilized in *Luffa cylindrica* l. sponge discs and ca-alginate matrices. Recuperado de NCBI: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24031981>
9. Bou-Saab, H., Boulanger, A., Schelenbaum, P. & Neulist, S. (2013). Performance of *Luffa cylindrica* as immobilization matrix in bioconversion reactions by *Nicotina tabacum* BY-2. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. Recuperado de: www.elsevier.com/locate/jbiosc
10. Boynard, C., Monteiro, S. & d'Almeida, J. (2002). Aspects of alkali treatment of sponge ground (*Luffa Cylindrica*) fibers on the flexural properties of polyester matrix composites. Wiley Online Library. Recuperado de: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/app.11522/abstract;jsessionid=287D991757085601B024A569D62C0C78.f04t01?deniedAccessCustomisedMessage=&userIsAuthenticated=false>
11. Chen, B.-Y. *et al.*, (2014). Fixed-bed biosorption of cadmium using immobilized *Scenedesmus obliquus* CNW-N cells on loofa (*Luffa cylindrica*) sponge. *Science Direct Bioresource technology*. Recuperado de: www.elsevier.com/locate/biortech
12. Cifuentes, B. & Pataquiva, L. (2013). Universidad de la Sabana. Pretratamiento fotocatalítico para la obtención de alcohol celulósico a partir de *Luffa cylindrica*: Recuperado, de [http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/10755/1/LAURA%20PATAQUIVA%20\(T\)%20TESIS.pdf](http://intellectum.unisabana.edu.co:8080/jspui/bitstream/10818/10755/1/LAURA%20PATAQUIVA%20(T)%20TESIS.pdf)
13. Ganguly, R., Dwivedi, P. & Singh, R. (2006). Production of lactic acid with loofa sponge immobilized *Rhizopus oryzae* RBU2-10. *Science Direct* Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852406001982>
14. Iqbal, M. & Edyvean, R. (2003). Biosorption of lead, copper and zinc ions on loofa sponge immobilized biomass of *Phanerochaete chrysosporium*. *Science Direct*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0892687503004102>
15. Iqbal, M. & Saeed, A. (2007). Biosorption of reactive dye by loofa sponge-immobilized fungal biomass of *Phanerochaete chrysosporium*. *Science Direct*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511307001444>
16. Kaewta, K. & Thongmee, J. (2012). Studies on the structure and properties of thermoplastic starch/luffa fiber composites. *Materials and Design*. Recuperado de: <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2063/science/article/pii/S0261306912002270>
17. Laidan, Y., Hanini, S., & Henini, G. (2010). Valorization of *Luffa cylindrica* for water treatments copper chargers. Study of the possibility of regeneration by chemical desorption. Oman: Sultan Qaboos University.
18. Lindino, C. A., Marciniak, A. A., Goncalvez Jr, A. & Strey, L. (2014). Adsorption of cadmium in vegetable sponge (*Luffa cylindrica*). *Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*.
19. Liu, Y.-K., Seki, M., Tanaka, H. & Furusaky, H. (1998). Characteristics of Loofa (*Luffa cylindrica*) sponge as a carrier for plant cell immobilization. *Journal of fermentation and bioengineering*, 416.
20. López, A., Vasquez, Suárez, A. & Gómez, C. (2012). Assessment of dye adsorption by *Luffa Cylindrica* fibers using experimental design methodology IA ENG International Association of Engineers. Recuperado de: http://www.iaeng.org/publication/WCE2012/WCE2012_pp646-650.pdf
21. Moreno, I. (2007). Effect of environmental factors on performance of immobilized consortium system for degradation of carbedazim and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in continuous culture. España: Science Direct Bioresource Technology.
22. Moreno, I. (España, 2007). Microalgae immobilization: current techniques and uses. Science Direct Bioresource Technology.
23. Moreno-Medina, D., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernandez, M. (Octubre de Méjico, 2013). Removal of methyl parathion and coumaphos pesticides by a bacterial consortium immobilized in *Luffa cylindrica*. E-Journals UNAM. Recuperado de: <http://www.journals.unam.mx/index.php/rica/article/download/35799/40214>.
24. Nagase, H. *et al.* (2006). Effect of environmental factors on performance of immobilized consortium system for degradation of carbedazim and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid in continuous culture. *Biochemistry Process*.
25. Nasreen, A. *et al.* (2007). Biosorption characteristics of unicellular green alga *Chlorella sorokiniana* immobilized in loofa sponge for removal of Cr(III). NCBI. Recuperado de: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18574966>
26. Piao Xu *et al.* (2012). Adsorption of Pb(II) by iron oxide nanoparticles immobilized *Phanerochaete chrysosporium*: Equilibrium, kinetic, thermodynamic and mechanisms analysis. *Chemical Engineering Journal*. Recuperado: http://ee.hnu.cn/eeold/php/news/pic/yunfeirandompic_1344651287.pdf
27. Purkayastha, D., Mishra, U. & Biswas, S. (2014). A comprehensive review on Cd(II) removal from aqueous solution. *Journal of Water Process Engineering* Recuperado de: www.elsevier.com/locate/jwpe
28. Shajidi, A., Jalilnejad, N. & Jalilnejad, E. (2013). A study on adsorption of cadmium(II) ions from aqueous solution using *Luffa cylindrica*. The online platform for Taylor & Francis Group content. Recuperado de: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/19443994.2013.873878#.VG1Zm9KG9jY>
29. Shapiro, L. (2012). EOL Encyclopedia of Life. Recuperado de *Luffa aegyptiaca*: http://eol.org/data_objects/22472617
30. Shen, J. & *et al.* (2012). Mechanical properties of luffa sponge. *SciVerse Science Direct*: Recuperado de: <http://aplicacionesbiblioteca.udea.edu.co:2063/science/article/pii/S1751616112001993>

31. Shen, J., Xie, Y. M., Huang, X., Zohu, S. & Ruan, D. (2013). Behaviour of luffa sponge material under dynamic loading. *International Journal of Impact Engineering*. Recuperado de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734743X13000110>
32. UNAD. (2013). Lección 29. Aspectos botánicos y labores cultivo del estropajo. Recuperado el Octubre de 2014, de Campus virtual UNAD: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/303022/Modulo_del_curso_en_exe/leccin_29_aspectos_botnicos_y_labores_cultivo_del_estropajo.html
33. Vignoli, J. A., Celligio, M. & Silva, R. (2006). Development of a statistical model for sorbitol production by free and immobilized *Zymomonas nobilis* in a luffa sponge *Luffa Cylindrica*. *Processn Biochem*.
34. Ye, C., Hu, N. & Wang, Z. (2013). Experimental investigation of *Luffa Cylindrica* as a natural sorbent material for the removal of cationic surfactant. *ScienceDirect Journal of the Taiwan of Chemical Engineers*. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107012001344>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 09 de 2016

Aceptado: octubre 14 de 2016

Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay

Management of biosolids and its possible application to the soil, case Colombia and Uruguay

Gestão de bio sólido e sua possível aplicação ao solo, caso Colômbia e Uruguai

Alexander Rodrigo Melo Cerón¹, Alejandra Rodríguez González²
& Juan Manuel González Guzmán³

¹Estudiante Programa de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia.

²Bióloga. ³Ingeniero civil, Magister en Economía.

^{1,2,3}Grupo PIT, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia

^{1,2,3}grupopit.ambiental@unimilitar.edu.co.

Resumen

En este artículo se realiza un análisis del manejo de los biosólidos y su posible aplicación en los suelos en países como Colombia y Uruguay a partir de una revisión bibliográfica. Se pretende identificar las diferentes alternativas para la estabilización de los lodos residuales para obtener biosólidos, los cuales son caracterizados de acuerdo con las normas de cada país para su aplicación en usos como remediación y estabilización de suelos, así como en la agricultura, sin que representen peligros para los ecosistemas y el ser humano.

Palabras Clave: lodos, caracterización, estabilización, agricultura,

Abstract

This article present an analysis of the management of biosolids and their possible application in the soils in countries like Colombia and Uruguay based on a bibliographical review. It is intended to identify the different alternatives for the stabilization of the sludge, obtaining biosolids, which are characterized

according to the norms of each country for its application in activities such as remediation and stabilization of soils, as well as in the agriculture, without representing any danger to ecosystems and human being.

Key-words: sludge, characterization, stabilization, agriculture.

Resumo

Neste artigo realiza-se uma análise da gestão dos biosólidos e sua possível aplicação no solo em Colômbia e Uruguai a partir da revisão bibliográfica. Pretende-se identificar as diferentes alternativas para a estabilização dos lodos residuais para obter biosólidos, caracterizados em concordância com as normativas de cada país para sua aplicação em remediação e estabilização de solos, na agricultura, sem apresentar perigos nos ecossistemas e as pessoas.

Palavras-chave: lodos, caracterização, estabilização, agricultura.

Introducción

De acuerdo con la Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático (1992), el Cambio Climático es un “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”. El cambio global genera impactos dentro de las cuales se encuentra cambios en las condiciones para la producción de alimentos, derretimiento del hielo de los polos y como consecuencia aumento en el nivel del mar, erosión costera, pérdida de seguridad alimentaria, polarización del clima con tormentas e inundaciones seguidas por intensas sequías y olas de calor, aumento en los índices de mortalidad debido a inundaciones y derrumbes.

A partir de esta situación se han planteado objetivos ambientales a nivel internacional, con lo cual los diferentes países han implementado leyes internas en procura de lograr objetivos ambientales que favorezca el medio ambiente. Colombia presenta trabajos puntuales en donde las diferentes Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales - PTAR del país, vienen realizando estudios en procura de lograr los mejores resultados para la estabilización de los lodos residuales, llevándolos a biosólidos cumpliendo con las reglamentaciones establecidas. Por su parte, Uruguay, presenta leyes ambientales generales, pero no contempla normatividad puntual que regule el tratamiento de biosólidos y su aplicación al suelo; por lo pronto, solo regula las plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias –PTARD. El objetivo de este artículo, es revisar y analizar manejo de biosólidos

y su posible aplicación al suelo en los países de Colombia y Uruguay.

Los Biosólidos

Los cambios del ecosistema por las actividades antrópicas se ven reflejadas en lo que se ha denominado cambio climático y por lo tanto, con el propósito de disminuir el impacto de estas actividades y procurando que la temperatura del planeta no se incremente, diferentes países han iniciado la implementación de procesos sostenibles como el sistema de saneamiento del agua a través las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR). A este respecto, Trejos & Agudelo (2012), (citando a Conil, 2000) establecen que estas son unidades de transformación de los efluentes industriales y domésticos, o sea unidades de transformación de la materia orgánica, y también afirman que la calidad del agua se mejora al eliminar los contaminantes, que estos se convierten en lodos, que son un concentrado de los compuestos más dañinos, resultantes de las aguas tratadas Guzmán *et al.* (2004). Por su parte, Torres *et al.*, (2008) y Almayá (2010), consideran que la depuración de aguas residuales genera lodos y biosólidos según el nivel de tratamiento, Mantilla (2016). Estiman que los biosólidos pueden ser empleados benéficamente después de ser sometidos a procesos de estabilización (Metcalf & Eddy, 2003). Complementando, dice Hurtado (2015). Que es posible confundir los lodos y los biosólidos y determina que su diferencia radica en que el biosólido fue sometido a un tratamiento o estabilización, que permite reducir el nivel de peligrosidad; se expone entonces la Tabla 1 de comparación de parámetros entre lodos y biosólidos.

Tabla 1. Comparación de parámetros entre lodos y biosólidos.

Parámetro	Unidad	Lodo	Biosólido
pH	Unidad	5-8	6.5-7.5
Alcalinidad	m/g de CaCO ₃	500-1500	2500-3500
Nitrógeno	% de ST	1.5 – 4	1.6-6
Fósforo	P ₂ O ₃ % de ST	0.8-2.8	1.5-4
Aceites y Grasas	% de ST	6-30	5-20
Proteínas	% de ST	20-30	15-20
Ácidos Orgánicos	Mg/l Hac	6800-10000	2700-6800
Sólidos Totales	%	2-8	6-12
Sólidos volátiles	% de ST	60-80	30-60

Fuente. Crites *et al.* (1998)

Además estima que, los biosólidos presentan un alto valor nutricional y por esta razón pueden ser usados para la agricultura y la jardinería; además considera que su contenido de macro y micronutrientes promueven el crecimiento de las plantas y cultivos. Oropeza (2006), quién establece que de acuerdo con la norma oficial Mexicana NOM-052-SEMAR-NAT-1993 los lodos resultantes de los procesos en las PTAR debe someterse a un análisis que determinar sus características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad y biológico-infecciosas o análisis CRETIB, con el cual se pueda precisar si el lodo resultante es peligroso o no peligroso.

Para destinar estos biosólidos a cultivos, es necesario que se tenga la certeza que dichos biosólidos cumplen con parámetros de sanidad establecidos por las normas de cada país para evitar repercusiones en la salud, como, en el caso colombiano, el decreto 1287 de 2014.

En cuanto al tratamiento de lodos, Vera *et al.* (sf) y Oropeza (2006) concuerdan en que las técnicas más utilizadas son la incineración, la digestión anaerobia, la digestión alcalina de lodos y el tratamiento químico; Vélez (2007), coincide con estos autores en cuanto a la incineración y agrega el vertido controlado. En cuanto a la disposición final se recurre

a varias alternativas como la aplicación en terrenos como rellenos, aplicación de suelos agrícolas y en este sentido, Guzmán & Campos (2001), manifiesta que el uso de este material en campos como la agricultura, recuperación de canteras, reforestación y producción de materiales de construcción, entre otros, son alternativas a su disposición final.

Biosólidos y su manejo en Colombia

De acuerdo con Reina & Suan (2016) en Colombia la entrada en operación de las plantas de tratamiento en las grandes ciudades ha generado un incremento en la producción de biosólidos, en sus inicios, las PTAR, presentaron problemas por la generación de sus lodos y con ello problemas ambientales asociados a su disposición final y/o tratamiento Bolívar *et al.* (2015). A lo largo del tiempo se presenta una amplia legislación en temas ambientales como se ve en la Tabla 1, para los fines pertinentes a los biosólidos, la norma más actualizada que rige este tema es el Decreto 1287 del 10 de Julio de 2014 como se ve en la Tabla 2, y es en el Artículo 8 del citado Decreto del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, que se establecen las alternativas de uso de los biosólidos de acuerdo con la categoría y clasificación A, B. Los de categoría A, se pueden destinar para zonas verdes, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos; como producto para uso en jardines,

anteparcos, patios, plantas ornamentales y arborización; en agricultura. La categoría B pueden ser destinados para la agricultura y recuperación de suelos degradados, como insumo en procesos de elaboración de abonos, fertilizantes, productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos, tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración. absorción y adsorción, como insumo en la fabricación de materiales de construcción, estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial secundaria

o terciaria, rellenos sanitarios como cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de re-vegetalización y paisajismo y valorización energética. También se presentan restricciones, siendo las más relevantes la prohibición de su utilización en playas, páramos y cuerpos de agua, suelos saturados, en zonas aledañas a fuentes de captación subterráneas, en suelos con alto riesgo de inundación; en los suelos rurales a menos de 100 m de viviendas aisladas; tampoco se pueden utilizar en suelos donde se encuentren especies de fauna y flora amenazados.

Tabla 2. Normatividad de los procesos de tratamiento de biosólidos de PTAR en Colombia.

Decreto 2811 de 1974	Código de Recursos Naturales. Art. 34 al 38 se regula lo relacionado con el manejo de residuos sólidos su procesamiento, la obligación de los municipios a organizar la recolección, transporte y disposición final de basuras y establece la posibilidad de exigir el manejo de estos residuos a quien los produce.
Decreto 1594 del 1984	Trata sobre vertimientos sobre las fuentes de Agua.
Resolución 2309 de 1986	Regula lo relacionado con residuos especiales, entendido por tales los patógenos, tóxicos, combustibles inflamables, radioactivos o volatilizables, así como lo relacionado con el manejo de los empaques y envases que los contienen.
Ley 99 de 1993	Art.1-4.Fundamentos de la política ambiental, crea Ministerio ambiente, y SINA
	Art.5 Funciones del Ministerio (numeral 2,10,11,14,25,32 respecto a residuos sólidos)
	Art.31 funciones de las corporaciones (numeral 10,12 respecto a residuos sólidos)
Ley 142 de 1994	Régimen de servicios Públicos y Domiciliarios. Art. 5 Define competencia de los municipios en cuanto a la prestación de servicios públicos
Decreto 2695 de 2000	Establece las normas y artículos sobre la gestión integral de residuos sólidos.
Resolución 1096 de 2000	Sobre Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
Decreto 1713 de 2002	Define la terminología correspondiente al manejo de residuos sólidos. Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la Gestión Integral de los Residuos Sólidos Ordinarios, en lo correspondiente a sus componentes, niveles, clases, modalidades y calidad. Además, asigna a los municipios y departamentos la responsabilidad en el manejo de los residuos sólidos y la obligación de formular e implementar planes de gestión integral de residuos sólidos.
Resolución 1045 del 2003	Establece la guía para la elaboración de los planes de gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS.
Decreto 1287 de 2014	Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales
Resolución 1433 de 2004	Por la cual se reglamenta el artículo 12 del Decreto 3100 de 2003, sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV, y se adoptan otras determinaciones.
Resolución 2145 de 2005	Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1433 de 2004 sobre Planes de Saneamiento y Manejo de Vertimientos, PSMV.
Decreto 1076 de 2015	Ambiente y desarrollo Sostenible. Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible

Aplicación al Suelo

Las PTAR de Colombia generan aproximadamente 274 t/día de biosólidos, (Bedoya *et al.*, 2013) y Vélez (2007) determinan que el 97% de esta producción es generada por plantas como, El Salitre (Bogotá), Cañaveralejo (Cali) y San Fernando (Itagüí), que, en el caso particular de Medellín, en la PTAR San Fernando, se generan cerca de 70 t/día de biosólidos, como producto del tratamiento de 1.100 L/s de aguas residuales. A este respecto Empresas Públicas de Medellín E.S.P explora alternativas en convenio con los entes académicos de la ciudad, con miras a un mejor uso de sus biosólidos y dichos ensayos mostraron que estos biosólidos pueden ser utilizados en protección de taludes, proyectos forestales, recuperación de suelos de minería, explotación de canteras y usos agrícolas y pecuarios (Vélez, 2007). Considérese en este mismo sentido, el uso de los biosólidos de las PTAR colombianas en sus suelos, que según Dágner (2003) y López (2015), han permitido reducir los requerimientos de suelo orgánico para la cobertura final de los sitios de disposición final de residuos sólidos, “de igual manera, han permitido recuperar suelos degradados por actividades antrópicas, hasta el primer semestre de 2003 se habían cubierto más de 20 ha con mezclas de biosólido-suelo para cobertura final y recuperado más de 22 ha de suelos degradados”.

También se evaluó el posible aprovechamiento de tres tipos de biosólidos (Rodríguez, 2008). procedentes del manejo de los lodos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, Colombia, para el cultivo y producción de rábano; en el cultivo midieron el número de hojas de las plantas y la producción de biomasa y en los rábanos el peso final y el contenido de coliformes fecales, *Escherichia coli*, y huevos de helmintos al momento de la cosecha; sus resultados mostraron que la aplicación de biosólidos mejoró entre 17% y 150% los pesos de la planta y del rábano en relación con el tratamiento control; no obstante, no se encontraron diferencias ($P > 0.05$) en el peso del rábano entre tratamientos. Afirman que aunque la aplicación de los biosólidos no influyó en la concentración de coliformes fecales ni de *E. coli* en el rábano al momento de la cosecha, la aplicación de

estos aumentó el contenido de huevos de helmintos viables, lo que presenta un riesgo elevado para la salud humana, (Rincón, 2016), hace necesario implementar prácticas de higienización antes de su uso en cultivos. Concluyeron que los biosólidos producidos en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Cañaveralejo, Cali, Colombia, no presentaron restricciones físico-químicas ni microbiológicas para el uso en cultivos agrícolas, con excepción del biosólido deshidratado, que presentó valores de coliformes fecales de 2.08×10^6 UFC/g y de huevos de helmintos de 9 HH/g que limitan su uso en la agricultura; la aplicación de los biosólidos en el suelo mejoró hasta 150% el peso de la parte aérea de la planta y del rábano con relación al tratamiento control; la aplicación del biosólido deshidratado aumentó el contenido de huevos de helmintos en el rábano, lo cual es un alto riesgo para la salud humana y confirma la necesidad de aplicar prácticas de higienización de los biosólidos antes de su aplicación en agricultura, Silva *et al.* (2013).

Biosólidos y su manejo en Uruguay

La Dirección Nacional de Agua y Saneamiento -DINASA, y el Centro de Información Oficial, encargado de difundir y dar a conocer la normativa jurídica en Uruguay, en colaboración con la Dirección Nacional de Medio Ambiente y la Red Uruguaya de ONG ambientalistas, diseñaron una herramienta telemática para la búsqueda de leyes, decretos, resoluciones, normas internacionales y otros documentos legales vinculados con temas ambientales -IMPO- donde fue posible identificar la legislación que se muestra en la Tabla 3, sin embargo no fue posible encontrar una norma específica que sea par al Decreto 1287 de 2014 colombiano. En Uruguay el incremento al programa de construcción de nuevas plantas en diferentes localidades del país ha mejorado la calidad de los vertidos, pero surge el problema del manejo y disposición final de los lodos a causa de la falta de normativa y poca experiencia en el tema a nivel nacional. Gilsanz *et al.* (2012); igualmente, experimentaron con los biosólidos como enmienda orgánica en cultivos como la lechuga cuyo propósito era evaluar el potencial agronómico de los lodos obtenidos en las plantas de tratamiento de líquidos residuales domésticos -PTARD- para su aplicación; dentro de

sus conclusiones consideran que las aplicaciones de los lodos frescos o compostados no afectaron negativamente las propiedades químicas del suelo, esto estaría indicando que la aplicación de lodos al suelo como fuente de materia orgánica es una opción posible, sin embargo, la utilización repetida podría llevar a la acumulación de P en el suelo y que

la seguridad en el empleo de los biosólidos como fuente de materia orgánica para la producción de alimentos no solo dependerá de su calidad inicial y de su manejo, sino también de un correcto manejo de la cosecha y de la desinfección y lavado postcosecha y preconsumo de los alimentos (Gilsanz *et al.*, 2012).

Tabla 3. Normatividad de los procesos de tratamiento de biosólidos de PTARD en Uruguay.

NORMA	DESCRIPCION
Ley 17283 del 2000	(Ley General de Protección del Medio Ambiente. artículo 21 dispone “es de interés general la protección del ambiente contra toda afectación que pudiera derivarse del manejo y disposición de los residuos cualquiera sea su tipo. Disposición final de basuras y establece la posibilidad de exigir el manejo de estos residuos a quien los produce. El Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente -en acuerdo con los Gobiernos Departamentales, en lo que corresponda y de conformidad con el artículo 8º de esta ley dictará las providencias y aplicará las medidas necesarias para regular la generación, recolección, transporte, almacenamiento, comercialización, tratamiento y disposición final de los residuos
Ley 16.465 de 1994	regula la evaluación de impacto ambiental
Decreto 349 de 2005	Aprueba el Reglamento de Evaluación de Impacto Ambiental y Autorizaciones Ambientales.
Decreto 253 del 1979	Modifica algunos aspectos de la ley N° 14.859 del 15 de diciembre de 1978 (Código de Aguas) en el artículo 12, numeral d, “sean residuos provenientes de la depuración de líquidos residuales cuya disposición final deberá ser estudiada en los proyectos respectivos de manera que no cause perjuicios”.
Proyecto PNUD/URU/91/008	sobre “Clasificación y Reciclo de Residuos Sólidos”, generaron el informe correspondiente a la 2a. Etapa, Asistencia Preparatoria, Setiembre 1996, base para los datos locales sobre los ciclos y mercados de los materiales reciclables
Decreto 253 de 1979	Modificaciones que establece normas de control de aguas
Decreto 497 de 88	Regula la descarga de barométricas.
Resolución IMM 117 de 1997	Para la Recolección, tratamiento y disposición sanitaria de lodos sépticos (Solo aplicable al Departamento de Montevideo), establece criterios sobre la disposición final de lodos de origen industrial.
Resolución 162 de 1997	Modifica criterios sobre lodos no peligrosos aceptables.

Posible Aplicación al Suelo

Martínez de la Cerda (2003), considera que los biosólidos son utilizados ampliamente por sus bondades, lo que hace que su efecto benéfico como fertilizante orgánico se prolongue por varios ciclos

de siembra con aplicación única, igualando o incrementado el rendimiento de los cultivos comparado con fertilizantes inorgánicos, también considera el mejoramiento del suelo mediante el incremento de materia orgánica, capacidad de intercambio

catiónico, retención de humedad y población de microorganismos. Outwater, 1994, determina que los lodos se utilizan principalmente en agricultura de granos básicos y forrajes, sin embargo, también se utiliza en recuperación de suelos deteriorados, bosques, campos de golf, parques y camellones. Castrejón *et al.* (2000), afirman, la aplicación de biosólidos en el suelo es frecuente en silvicultura -plantaciones forestales o viveros-, recuperación de suelos degradados, adecuación de zonas verdes, abono o enmienda orgánica y como biorremediación de suelos contaminados; consideran que la potencialidad de uso depende del tratamiento previo y del tipo de cultivo donde se apliquen y que los cultivos sobre el suelo y de consumo directo sin procesamiento previo presentan las mayores restricciones por el riesgo de presencia de patógenos.

En la Tabla 4 se puede observar los valores máximos permisibles de metales para los biosólidos en

cada nación comparados con los valores de la EPA, en Uruguay como se mencionó anteriormente no se encuentra una normativa para este fin. Potisek *et al.* (2010), realizaron una investigación sobre la aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrientes con suelo de textura franco-arcillo-limosa. El objetivo de dicha investigación fue evaluar el contenido de materia orgánica, macro y micronutrientes en el suelo, después de la aplicación de biosólidos, así como su distribución en el perfil del suelo. Sus conclusiones afirman que la aplicación de biosólidos incrementó la materia orgánica en el estrato superficial del suelo, a pesar que no se observaron tendencias significativas en la distribución de la materia orgánica en el perfil del suelo, los biosólidos incrementaron el contenido de nitratos y fósforo aprovechable en el suelo hasta una profundidad de 35 cm, los microelementos también se incrementaron en todo el perfil de suelo.

Tabla 4. Comparación de valores máximos permisibles de metales en los biosólidos

Variable	unidad de medida	URUGUAY	COLOMBIA		US EPA
		Biosólidos valores Máximos permisibles	Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Biosólidos valores Máximos permisibles
			A	B	
Arsénico (As)	mg/kg de biosólido (base seca)	-	20	40	41
Cadmio (Cd)		-	8	40	39
Cobre (Cu)		-	1.000,00	1.750,00	1.500,00
Cromo (Cr)		-	1.000,00	1.500,00	1.200,00
Mercurio (Hg)		-	10	20	17
Molibdeno (Mb)		-	18	75	18
Níquel (Ni)		-	80	420	420
Plomo (Pb)		-	300	400	300
Selenio (Se)		-	36	100	36
Zinc (Zn)		-	2.000,00	2.800,00	2.800,00

Fuente: Decreto 1287; 40 CFR parte 503.

Conclusiones y recomendaciones

Se evidencia que las políticas internacionales sobre el medio ambiente adoptadas por los países en sus legislaciones internas, se traducen en procesos que pretenden mitigar el calentamiento global, con el propósito de evitar que el clima mundial se incremente en 2°C al año 2050. Tanto Colombia como Uruguay son países que han adoptado estas políticas, pero de los dos, es Colombia el que tiene mayores estudios en cuanto a plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR y a partir de sus lodos, investigaciones tendientes al saneamiento integral, es decir saneamiento de aguas y saneamiento de sus lodos, los cuales somete a otros procesos para que adquieran las caracterizaciones reglamentarias y disponerlos en los suelos sin que éstos perjudiquen los ecosistemas y la vida misma del ser humano.

Los biosólidos de las PTAR de Colombia han permitido reducir los requerimientos de suelo orgánico para la cobertura final de los sitios de disposición final de residuos sólidos de las principales ciudades del país; también han permitido recuperar suelos degradados por actividades antrópicas, hasta el primer semestre de 2003 se habían cubierto más de 20 ha con mezclas de biosólido-suelo para cobertura final y recuperado más de 22 ha de suelos degradados.

Uruguay, a pesar de aceptar las políticas ambientales mundiales y presentar dentro de su legislación interna, reglamentación ambiental en concordancia con éstas políticas, no presentan normas que caracterizan los biosólidos y vienen implementando sus Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticiarias -PTARD-, pero no se registran estudios tendientes al correcto saneamiento de los lodos residuales y convertirlos en biosólidos estabilizados para realizar una disposición final en beneficio de los suelos, sin riesgos para los ecosistemas y la vida humana.

Frente a la problemática de los lodos residuales generados por el saneamiento de aguas residuales domésticas e industriales, es pertinente agilizar las investigaciones que generen desarrollos de

alternativas que permitan el aprovechamiento del 100% de estos residuos, toda vez que es preciso que el saneamiento sea integral, es decir, que no es correcto limpiar el agua y con los residuos contaminar la tierra, así entonces, esto no tendría sentido.

En aras de lograr los mejores resultados, mayor eficiencia y eficacia en el aprovechamiento de los biosólidos y siendo el saneamiento de las aguas y el tratamiento de los lodos una política pública, sería pertinente la unión de todas las PTAR del país, en donde se incluyan tanto las grandes ciudades que cuentan con plantas de gran envergadura, así como los municipios pequeños que aún no cuentan con sistemas de saneamiento, con el propósito de unir esfuerzos, replicar en todos ellos las mejores alternativas logradas en los procesos de estabilización, creando centros especializados conjuntos. En este mismo sentido, replicar el modelo de unión local a nivel internacional con los países vecinos y establecer modelos de cooperación, lo que permitirá que nuestro país exporte conocimiento, se brinde apoyo técnico a otros países que se encuentran atrasados en los procesos de saneamiento integral de las aguas y sus lodos, lo anterior agilizaría los procesos en todos los países y el gran beneficiado sería el medio ambiente para el cual, ya afirmamos que no tiene fronteras y el beneficio que se logre será para toda la humanidad.

Literatura citada

1. Almaya, S. (2010). Transformación de sólidos provenientes de lodos generados en el sistema de alcantarillado de Bogotá mediante lombriz californiana. Facultad de Ingeniería Ambiental Control de Sólidos. Universidad del Bosque.
2. Bedoya, U. K., Acevedo, J. M., Peláez, C. A. & Agudelo, S. (2013). Caracterización de biosólidos generados en la planta de tratamiento de agua residual San Fernando, Itagüí (Antioquia, Colombia). *Rev. salud pública*. 15 (5): 778-790, 2013. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rsap/v15n5/v15n5a13.pdf>
3. Bolívar, N. A., Betancur J. F. & Rodríguez, N. (2015). Estudio evaluativo del manejo de biosólidos para el caso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) El Salitre. Facultad de Ingeniería. Universidad Cooperativa de Colombia. Recuperado de: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2280/1/Bolivar_Melendez_Nydiana_Astrid_2015.pdf

4. Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre El Cambio Climático. Naciones Unidas. (1992). Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
5. Castrejón, J., Bedoya D., & Torres P (2000). Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. *Acta Agronómica*, 62 (2), 155-164. Recuperado de http://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/30010/43671.
6. Crites. (1998). *Natural Wastewater Treatment Systems*, Second Edition. Recuperado de: https://books.google.com.co/books?id=m2rSBQAAQBAJ&pg=PA411&lpg=PA411&dq=Crites+et+al,+1998&source=bl&ots=qEy6ZgY0GC&sig=Eyo9jfgOfCQtZi-VNbSYt_Zty1A&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjK4rKf6JXUAhVK6yYKHSwVBEMQ6AEIJzAA#v=onepage&q=Crites%20et%20al%20%201998&f=false
7. Dáguer. (2003) Gestión de Biosólidos de la PTAR El Salitre. Pontificia Universidad Javeriana, Curso Internacional de restauración Ecológica De Canteras y Uso de Biosólidos, 28 de Julio – 2 de Agosto, Bogotá
8. EPA, Environmental Protection Agency. (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales: Humedales de flujo subsuperficial, EPA 832-F00-023, Washington D.C (USA).
9. Gilsanz, J. C., Leoni, C., Aranda, S. & Schelotto, F. (2012). Uso Agrícola de los Lodos urbanos. Sustentabilidad Ambiental. *Revista INIA*. Recuperado de: <http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/2086/1/18429300612191846.pdf>
10. Guzmán Carolina & Campos Claudia (2001). Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura. Pontificia Universidad Javeriana. *Revista de la Facultad de Ciencias*. Vol. 9, N° 1: 59-67. Recuperado de: <http://revistas.javeriana.edu.co/index.php/scientarium/article/viewFile/4923/3798>
11. Guzmán, C., Peláez, D., Blanca L, Rodríguez., G., Acero, F. & Nava, G. (2004). Presencia de virus entéricos en muestras de agua para el consumo humano en Colombia: desafíos de los sistemas de abastecimiento. Recuperado de: <http://www.revistabiomedica.org/index.php/biomedica/article/view/2987/3257>.
12. Hurtado, A. M. (2015). Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso países europeos: España, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Recuperado de: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/7524/1/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
13. López, A. C. (2015) Manejo de Biosólidos a Raíz de la Nueva Normatividad en la Ptar Río Frío, Bucaramanga (Santander). Facultad de Ingeniería Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá D.C. Disponible en: <http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/6296/1/Trabajo%20final%20UMNG.pdf>
14. Mantilla, G. (2016). Alternativas en el manejo integral de lodos en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. Recuperado de: http://www.convencionaneas.com/doc/Presentacion/06_Alternativas_en_PTARS/06_Alternativas_en_PTARS.pdf
15. Martínez De La Cerda, J. (2003). Efecto del lodo residual en el rendimiento y concentración de metales pesados de hortalizas y granos básicos. Facultad De Agronomía. Subdirección De Estudios De Posgrado. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. Recuperado de: <http://eprints.uanl.mx/5905/1/1020150704.PDF>.
16. Metcalf & Eddy. (2003). *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición, Editorial McGraw-Hill.
17. Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio. Decreto No. 1287 de Julio 19 de 2014 "Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales" Recuperado de: <http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2014/Documents/JULIO/10/DECRETO%201287%20DEL%2010%20DE%20JULIO%20DE%202014.pdf>
18. Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente. Recuperado de: http://www.vertic.org/media/National%20Legislation/Mexico/MX_NOM-052-ECOL-1993.pdf.
19. Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. Departamento de Ingeniería, Universidad de Quintana Roo Boulevard Bahía s/n esq. Ignacio Comonfort, Col. del Bosque Chetumal, Quintana Roo, México. *Caos Conciencia 1*: 51-58. Recuperado de: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf
20. Potisek, T. M. C, Figueroa, U., González, G. Jasso, R. & Orona, I. (2010). Aplicación de biosólidos al suelo y su efecto sobre contenido de materia orgánica y nutrientes. *Terra Latinoamericana*, vol. 28, núm. 4, octubre-diciembre Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57318502004>
21. Rincón, Y. (2016). Regulación de uso de biosólidos. Recuperado de: <http://decreto1287-2014.blogspot.com.co/>
22. Reina, A. C. & Suan, A. M. (2016). Areas aptas para la utilización de biosólidos en el municipio de Mosquera. facultad de medio ambiente y recursos naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas Bogotá D.C. Recuperado de: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/3282/1/ReinaRojasAndreaCarolinaSuanJim%C3%A9nezAnaMar%C3%ADa2016.pdf>
23. Rodríguez E. (2008). Gestión Ambiental para los subproductos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales en el Jardín Botánico de la Universidad Nacional de Colombia y comparación con sistemas similares en San Andrés. Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de: <http://www.bdigital.unal.edu.co/684/1/812119.2008.pdf>

24. Silva, J. A., Bedoya, D. F. & Torres, P. (2013). Evaluación del potencial de aplicación de biosólidos higienizados en el cultivo de rábano. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n2/v62n2a09.pdf>
25. Torres, P., Madera, C. A., Martínez, G.V. (2008). Estabilización alcalina de biosólidos compostados de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas para aprovechamiento agrícola. *Rev.Fac.Nal.Agr.* Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v61n1/a19v61n1.pdf>
26. Trejos, M. & Agudelo, N. (2012). Propuesta para el aprovechamiento de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de la empresa “Comestibles La Rosa” como alternativa para la generación de biosólidos. Facultad De Ciencias Ambientales Administración Ambiental Universidad Tecnológica De Pereira. Recuperado de: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/2775/62839T787.pdf?sequence=1>
27. Outwater (1994), Handbook of Environmental Engineering. Recuperado de: <https://books.google.com.co/books?isbn=1498708625>
28. Vélez, J. A. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? *Producción + Limpia - Julio - Diciembre -Vol. 2 No. 2*. Recuperado de: http://www.lasallista.edu.co/fxcul/media/pdf/RevistaLimpia/vol2n2/PL_V2N2_57-71_biosolidos.pdf
29. Vera, A. M., Sánchez, E., Ortiz, M. L., Peña, J. L. & Ortega, M. (sf). Estabilización de lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje. centro de investigación en biotecnología, Laboratorio de Investigaciones Ambientales, Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, México. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/267972657_ESTABILIZACION_DE_LODOS_RESIDUALES MUNICIPALES POR MEDIO_DE_LA_TECNICA_DE_LOMBRICOMPOSTAJE

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: agosto 25 de 2016
Aceptado: octubre 03 de 2016

Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia

Comparison of the regulations for the management of sludge from waste water in Argentina, Chile and Colombia

Regulamentos de comparação para a manipulação de lamas de águas residuais na Argentina, Chile e Colômbia

Fabián Andrés Ospina López¹, Alejandra Rodríguez González² & Juan Manuel González Guzmán³

¹Estudiante Programa de Ingeniería Civil, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia. ²Bióloga. ³Ingeniero civil, Magister en Economía.

^{1,2,3}Grupo PIT, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá – Colombia

^{1,2,3}grupopit.ambiental@unimilitar.edu.co.

Resumen.

El presente artículo presenta resultados de una revisión sobre el manejo y disposición final de lodos generados en las plantas de tratamiento de agua residual, los cuales deben ser sometidos a diferentes tratamientos para ser transformados en biosólidos y lograr determinar su uso sujeto a la clasificación que se presenta en Argentina, Chile y Colombia. Se realizó un análisis comparativo de los diferentes parámetros que se tienen en cuenta en los reglamentos de cada uno de estos países, evidenciando los cambios entre ellos. Fue posible identificar que Chile no presenta valores máximos de aplicación como los otros países, pero presenta un plan de aplicación. Respecto a Argentina y Colombia se percibe que varios de sus criterios presentan unos valores con una gran diferencia uno respecto al otro, además la normatividad argentina no tiene en cuenta los valores de Selenio en biosólidos, mientras que el reglamento colombiano maneja la normatividad US EPA.

Palabras clave: biosólidos, normatividad, metales pesados, impacto ambiental.

Abstract

This article presents results of a review on the handling and final disposition of sludge generated in the wastewater treatment plants, which should be subjected to different treatments to be transformed into biosolids and achieve determine its use subject to the classification that is presented in Argentina, Chile and Colombia. A comparative analysis was made of the different parameters that are taken into account in the regulations of each of these countries, demonstrating the changes between them. It was possible to identify that Chile does not present maximum values of application as the other countries, but presents a plan of implementation. With regard to Argentina and Colombia is perceived that several of its criteria presented some values with a big difference with one another, in addition the Argentina

normativity does not take into account the values of selenium in biosolids, whereas the regulation of Colombia manages the normativity US EPA.

Key-words: biosolids, normativity, heavy metals, environmental impact

Resumo.

Neste artigo são apresentados os resultados de uma revisão sobre manejo e disposição final dos lodos gerados nas plantas de tratamento de água residual, que devem passar por diferentes tratamentos para ser transformados em biosólidos e conseguir determinar seu uso segundo a classificação que apresentam Argentina, Chile e

Colômbia. Realizou-se uma análise comparativa dos diferentes parâmetros que são considerados nos regulamentos de cada país, mostrando mudanças entre elas. Foi possível identificar que o Chile não apresenta valores máximos de aplicação como passa sim nos outros países, no entanto Chile tem um planejamento de aplicação. Argentina e Colômbia mostram valores discrepantes entre os critérios, além disso, a normativa Argentina não considera valores de selênio nos biosólidos enquanto a normativa colombiana maneja a normativa da US EPA.

Palavras-chave: biosólidos, normativas, aproveitamento.

Introducción

En la actualidad el mundo vive una problemática ambiental, una de sus complicaciones es el uso y disposición final de los biosólidos de las plantas de tratamiento de agua residual -PTAR-, y una búsqueda de formas adecuadas para su disposición final. Debido a esto se generan unas políticas y reglamentos que logran determinar una caracterización que permite especificar los usos adecuados para la distribución final de los biosólidos y disminuir el impacto ambiental negativo que estos pueden ocasionar (Gutiérrez, Mahamud & Sastre 1996; Cazorra, 1994; Rich, 1982).

En el caso de Estados Unidos, durante los últimos 40 años casi se ha triplicado el número de PTAR, existen aproximadamente 15.000 plantas, siendo más numerosas las que tratan menos de 3.800m³ al día, correspondiendo al 81% (Metcalf & Eddy, 1996). En relación a Latinoamérica, estudios de Reynolds (2002) informan que sólo el 10% de las aguas servidas recolectadas se les aplica algún tipo de tratamiento sin cumplir las normas o los procedimientos para alcanzar un sistema eficiente. En el caso de México, solo un 5% de las plantas de tratamiento operan de manera satisfactoria.

Las PTAR son instalaciones que tienen como objetivo remover los contaminantes presentes en las

aguas residuales, tanto domiciliarias como industriales, con el fin de hacerlas aptas para otros usos en actividades de la vida cotidiana con excepción del consumo humano, es decir, no se puede ingerir o emplear para el aseo personal para evitar riesgos en la salud humana y daños al ambiente, a menos que sean sometidas a un proceso adicional que les permita cumplir con las regulaciones para su reuso (Metcalf & Eddy, 1996). Durante el proceso de las PTAR se genera un subproducto llamado lodo. Los lodos sanitarios corresponden a sólidos orgánicos sedimentables que pueden ser depositados en rellenos sanitarios. (Vélez, 2007; Whitehouse, 2000). El tratamiento de este producto se hace con el fin de convertirlo en biosólido.

Debido a dicha problemática que se genera a nivel mundial por la generación de lodos a través de las PTAR y su tratamiento para ser transformados en biosólidos los países crearon su reglamento para el adecuado manejo de este producto. Debido a su composición puede ser utilizado en diferentes actividades, una de ellas, como acondicionador físico del suelo mejorando características como la porosidad, la infiltración y el aumento de la resistencia a la erosión (Cortez, 2003; Kuchenrither, 1992).

Esta investigación se llevó a cabo bajo tres reglamentos de manejo y clasificación de lodos obtenidos de una PTAR en Argentina, Chile y Colombia.

Metodología

La búsqueda de información se llevó a cabo usando bases de datos, artículos, referencias bibliográficas e internet se pretende enmarcar y examinar la normativa existente sobre el manejo de lodos generados en una PTAR, para los países de Argentina, Chile y Colombia. Una vez adquirida la información fue analizada para así mismo llegar a la construcción de un documento que proporciona y permite identificar las diferencias que se presentan en los reglamentos de los países mencionados.

Biosólidos

De acuerdo al informe del Banco Mundial (2012), hace catorce años había 2,9 billones de residentes urbanos cuya generación de residuos sólidos municipales -RSM- ascendía a 0,64 kg diarios (0,68 billones de t). Este reporte estimó que al 2012 la suma de residentes urbanos asciende a 3 billones y la generación de RSM *per cápita* diaria asciende a 1,2 kg; es decir, 1,3 billones t anuales. Para el año 2025 se espera que los valores alcancen los 4,3 billones de residentes urbanos y una generación *per cápita* diaria de 1,42 kg (2,2 billones t/año). De esta generación de residuos a nivel mundial, un 46% corresponde a la fracción orgánica (Banco Mundial, 2012).

Teniendo en cuenta esta problemática, se han generado alternativas para el tratamiento de residuos, incluyendo los de PTAR, ya que el tratamiento del agua residual genera como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos que deben someterse a un tratamiento adicional e implican un costo extra para el funcionamiento de la planta. (Bustamante, 1999; Crohn, 1995).

El proceso de funcionamiento para el tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas puede dividirse en cuatro etapas:

1. El pre-tratamiento es el proceso en que se produce la eliminación de sólidos gruesos de gran tamaño presentes en las aguas residuales, cuya presencia pueda provocar problemas de mantenimiento y funcionamiento de los diferentes procesos, operaciones y sistemas auxiliares (Alcota, 2002; Sastre, 1995). La flotación se usa para eliminar sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas al agua -grasas y aceites-; y el desarenado para eliminar materia en suspensión gruesa (Metcalf & Eddy, 1985).
2. Tratamiento Primario: Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO (Alcota, 2002; Novotny & Olem, 1994).
3. Tratamiento Secundario: Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos, generando así lodos residuales que deben ser tratados por las PTAR (Lester 1987a)
4. Tratamiento Terciario: Es aquel que permite remover sustancias refractarias a los procesos biológicos, como los metales pesados, fósforo, nitrógeno, DQO soluble, entre otros (Metcalf & Eddy, 1985). Para el tratamiento de lodos se usa la aplicación de técnicas para su estabilización como: pasteurización, digestión anaerobia y digestión aerobia. Para convertirlos en biosólidos (Bustamante, 1999; Crohn, 1995).

Estados Unidos ha desarrollado la normativa 40 CFR parte 503 para el manejo de biosólidos, teniendo en cuenta que la primera normativa relacionada con esta temática, se ha usado como referencia para otros países. La norma abarca, la definición, clasificación, manejo, reutilización y eliminación de biosólidos. Los biosólidos se definen en esta norma como residuos sólidos, semisólidos o líquidos

generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias, incluyen los sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración” (EPA, 1994; Davis, 1994).

La US EPA clasifica los biosólidos teniendo en cuenta los siguientes parámetros:

- **Biosólidos clase A:** Se consideran solido clase A aquellos biosólidos que tengan una densidad de coliformes fecales menor a 1.000NMP por gramo de solidos totales, o tener una densidad de *salmonella* sp. Menor a 3NMP en 4 g de solidos totales, tener un contenido de huevos de helminthos viable menor a 1 por 4 g de solidos totales. (EPA, 1994)
- **Biosólidos clase B:** Se consideran solido clase B aquellos biosólidos que contengan una densidad de coliformes fecales inferior a 2×10^6 NMP por g de sólidos totales o 2×10^6 UFC por g de sólidos totales. Este tipo de biosólidos deberá recibir tratamiento y será el que mayores restricciones presente para uso agrícola. (EPA, 1994)

En las alternativas de uso según la categoría de los biosólidos se tienen las siguientes:

Categoría A.

- En zonas verdes tales como cementerios, separadores viales, campos de golf y lotes vacíos.
- Como producto para uso en áreas privadas tales como jardines, antejardines, patios, plantas ornamentales y arborización.
- En agricultura.
- Los mismos usos de la Categoría B (EPA, 1994).

Categoría B.

- En agricultura, se aplicará al suelo.

- En plantaciones forestales.
- En la recuperación, restauración o mejoramiento de suelos degradados.
- Como insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos a través de tratamientos físicos, químicos y biológicos que modifiquen su calidad original.
- Para remediación de suelos contaminados, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración. Absorción y adsorción.
- Como insumo en la fabricación de materiales de construcción.
- En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, red vial. Secundaria o terciaria.
- En la operación de rellenos sanitarios tomo: cobertura diaria, cobertura final de cierre y de clausura de plataformas y en actividades de revegetalización y paisajismo.
- Actividades de revegetalización y paisajismo de escombreras. En procesos de valorización energética (EPA, 1994).

Resultados y discusión

En Argentina, Chile y Colombia, países ubicados en América del Sur (Figura 1), el reglamento para el manejo de los lodos generados por las plantas de tratamiento de agua residual se realiza con el objetivo de regular el manejo sanitario de los lodos de tal modo que se pueda proteger la salud de la población y prevenir el deterioro de los recursos naturales (Resolución 97, 2001), (Decreto Supremo N° 004, 2009), (Decreto N° 1287,2014).

La ley N° 24.051, la cual aprueba la resolución 97 “Reglamento para el Manejo Sustentable de

Barros Generados en Plantas de Tratamiento de Efluentes Líquidos” en Argentina. En su contenido se puede encontrar: Caracterización, Categorización, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad.

Por otra parte, las disposiciones de la ley N° 19.300 que aprueba el proyecto definitivo de reglamento estipulado bajo el Decreto Supremo N° 004 “Reglamento para el Manejo de Lodos Generados en Plantas de Aguas servidas” para Chile. Se hallan en su contenido los siguientes aspectos: Categorización, Clasificación, Formas de Uso, Disposición final, Restricciones y control de calidad.

Para Colombia la Ley N° 142 la cual establece el Decreto N° 1287 “Criterios Para el Uso de los Biosólidos Generados en Plantas de Tratamiento de Agua Residual”. Este decreto incluye caracterización, formas de uso, disposición final, restricciones y control de calidad.

Las normas de cada país comenzaron a regir desde, 22 de noviembre del 2001, 30 de enero del 2009 y 10 de julio del 2014 respectivamente.

En Argentina se tiene como definición de biosólidos lo siguiente “Productos originados en la transformación de barros orgánicos a través de tratamientos destinados a reducir su nivel de patogenicidad, su poder de fermentación y su capacidad de atracción de vectores y a otorgarles aptitud para su utilización agrícola y para la recuperación de suelos y sitios degradados” (Resolución 97, 2001).

Para el Decreto de Chile no se maneja el termino biosólido pero se define el lodo como la “basura, desecho o residuo semisólido que hayan sido generados en plantas de tratamientos de aguas” (Supremo N° 004, 2009; Rámila, Sebastián & Rojas, 2008).

Finalmente, los biosólidos son definidos por el Decreto 1287 de Colombia como el “Producto resultante de la estabilización de la fracción orgánica de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales municipales, con características físicas, químicas y microbiológicas que permiten su uso”.

Según los decretos establecidos en los tres países se deben tener en cuenta los valores máximos y los valores máximos permisibles de Químicos-Metales en los biosólidos, estos varían según el reglamento de cada país, en la Tabla 1 se pueden apreciar los valores, con el fin de evitar efectos nocivos en el área donde sean usados.



Figura 1 Ubicación Geográfica

Tabla 1. Valores Máximos Permisibles de Metales en los Biosólidos

Variable	unidad de medida	ARGENTINA ¹	CHILE ²		COLOMBIA ³		US EPA ⁴
		Biosólidos valores Máximos permisibles	Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Categoría Biosólidos valores Máximos permisibles		Biosólidos valores Máximos permisibles
			A	B	A	B	
Arsénico (As)	mg/kg de biosólido (base seca)	75	20,0	40,0	20,0	40,0	41,0
Cadmio (Cd)		20-40	8,0	40,0	8,0	40,0	39,0
Cobre (Cu)		1000-1750	1.000,0	1.200,0	1.000,0	1.750,0	1.500,0
Cromo (Cr)		1000-1500	-	-	1.000,0	1.500,0	1.200,0
Mercurio (Hg)		16-25	10,0	20,0	10,0	20,0	17,0
Molibdeno (Mb)		-	-	-	18,0	75,0	18,0
Níquel (Ni)		300-400	80,0	420,0	80,0	420,0	420,0
Plomo (Pb)		750-1200	300,0	400,0	300,0	400,0	300,0
Selenio (Se)		-	50,0	100,0	36,0	100,0	36,0
Zinc (Zn)		2500-4000	2.000,0	2.800,0	2.000,0	2.800,0	2.800,0

¹Resolucion 97

²Decreto Supremo 004

³Decreto 1287

⁴40CFR parte 503

En la Tabla 1 se pueden observar los valores máximos permisibles de metales pesados que puede contener un biosólido para ser empleado en las diferentes alternativas de uso; se pueden evidenciar similitudes en los rangos de valores para Chile y Colombia en tales como: Arsénico, Cadmio, Mercurio, Níquel, Selenio y Zinc. Se observa que en algunos valores máximos permisibles en Argentina son más elevados estos son: Arsénico y Plomo. También se evidencia que en el caso de Argentina y Chile no se tienen en cuenta algunos metales respecto a la US EPA, la cual toma como referencia estos metales son: Cromo, Molibdeno y Selenio.

En Argentina, Chile y Colombia existen restricciones en el uso del suelo después de ser aplicado el biosólido, como las siguientes:

- No se podrán aplicar biosólidos en cultivos hortícolas y frutícolas durante el período de vegetación (formación de tallos y hojas), con la excepción de los cultivos de árboles frutales.
- No se podrán aplicar biosólidos durante un período de un (1) año antes de la cosecha y durante la cosecha misma de cultivos hortícolas o frutícolas que estén en contacto directo con el suelo y que se consuman en estado crudo.
- En cultivos de raíz, sólo se permitirá cosechar después de veinte (20) meses, si los biosólidos permanecieron sobre el suelo por cuatro (4) meses o más, antes de su incorporación al terreno.
- En cultivos de raíz, sólo se permitirá cosechar después de tres (3) años, si los biosólidos

permanecieron sobre el suelo menos de cuatro (4) meses, antes de su incorporación a terreno.

- Forraje para ganado y cultivos agroindustriales no destinados a consumo humano directo, deberán considerar que la última aplicación de biosólidos al suelo debe hacerse por lo menos tres (3) meses antes de la cosecha.
- Solo se podrán poner a pastar animales domésticos después de tres (3) meses de la última aplicación de biosólidos al terreno.
- En suelos de uso forestal, restringiendo el acceso al área durante el mes siguiente a la última aplicación.

En las Normativas dadas por los tres países se presentan limitantes en las cuales no se debe aplicar biosólido de ninguna categoría para la protección del medio ambiente y de la población, como se muestra a continuación:

- En Playas, páramos y cuerpos de agua.
- En suelos saturados como vegas.
- En suelos cuyo nivel freático máximo se encuentre a menos de un (1) m de profundidad con respecto a la superficie del terreno y en aquellos suelos en los que se genere un efecto de nivel freático colgante.
- En zonas aledañas a fuentes de captación subterráneas de agua para consumo humano o animal, en un radio inferior de cien (100) m.
- En zonas aledañas a fuentes superficiales de captación de agua para consumo humano o animal, en una franja mínima de treinta (30) m medidos en paralelas a las líneas de mareas máximas. En el caso de los nacimientos de fuentes de agua, en una extensión de por lo menos cien (100) m a la redonda, medidos a partir de su periferia.

- En la zonas de rondas.
- Suelos con alto riesgo de inundación.
- Clase B, a menos de trescientos (300) m de distancia de áreas residenciales urbanas, hospitales, locales de expendio de alimentos, escuelas, y parques. Valores inferiores deberán ser soportados en estudios de impacto ante las Autoridades Ambientales Competentes.
- En suelo rural a menos de 100 m de viviendas aisladas.
- En terrenos agrícolas en tasas mayores a la tasa agronómica, considerando la clase de cultivos en que sean empleados.
- En suelos donde se encuentren especies de fauna y flora amenazados para la aplicación de biosólidos de categoría B.

En el caso de Argentina y Chile se deben tener en cuenta otras características, que en el reglamento de Colombia no se hace referencia, las cuales son:

- El biosólido no debe presentar un pH inferior a 5.
- En los sitios que va a ser aplicado no debe existir una Pendiente superior a 15%. En los casos de suelos con pendiente superior a 15%, y con presencia de cobertura vegetal arbustivos o arbóreos, se podrá realizar aplicación localizada, sistema que deberá ser descrito en el Plan de Aplicación.

Dado que se pueden presentar inconvenientes en la aplicación de biosólidos al suelo, las normativas de Argentina y Colombia contemplan la tasa máxima anual de aplicación como se observa en la Tabla 2, en comparación con los límites establecidos por la normativa de US EPA ya que posee mayor investigación sobre el tema de biosólidos y se encuentra en rigor desde 1994.

Tabla 2. Tasa Máxima Anual de Aplicación

	ARGENTINA ¹	COLOMBIA ²	US EPA ³
PARAMETROS	TMAA kg/ha-año	TMAA kg/ha-año	TMAA kg/ha-año
Arsénico (As)	2,0	2,0	2,0
Cadmio (Cd)	0,15	1,9	1,9
Cobre (Cu)	12,0	75,0	75,0
Cromo (Cr)	3,0	150,0	150,0
Mercurio (Hg)	0,1	0,85	0,85
Níquel (Ni)	3,0	21,0	21,0
Plomo (Pb)	15,0	15,0	15,0
Selenio (Se)	-	5,0	5,0
Zinc (Zn)	30,0	140,0	140,0

¹Resolucion 97

²Decreto 1287

³40CFR parte 503

En Chile, aunque no se presentan valores máximos de aplicación se tienen procedimientos para aplicación en suelo, donde se contempla un plan de aplicación de biosólidos el cual no debe ser superior a un año y debe ser presentado un mes antes del inicio de su aplicación, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Pendiente (expresada como porcentaje).
- Profundidad efectiva del suelo.
- pH.
- Conductividad eléctrica.
- Porcentaje de arena.
- Materia orgánica.
- Contenido total de los metales pesados en el suelo receptor.

- Cantidad de biosólidos a aplicar anualmente.
- Clasificación de los biosólidos
- Frecuencia de aplicación.
- Época de aplicación.

Asimismo, en la Tabla 3 se encuentran los valores límites de metales en Colombia comparados con la normativa tomada como referencia -US EPA-, dado que en los reglamentos de Argentina y Chile no se evidencia la tasa acumulativa de aplicación. Los suelos no deben exceder los valores límites de bioacumulación de metales que se encuentra en la Tabla 3, lo cuales se presentan por el uso de biosólidos para evitar procesos de contaminación.

Tabla 3. Tasa Acumulativa de Aplicación

PARAMETROS	COLOMBIA ¹	US EPA ²
	TASA ACUMULATIVA DE APLICACIÓN EN EL SUELO kg/ha	TASA ACUMULATIVA DE APLICACIÓN EN EL SUELO kg/ha
Arsénico (As)	41,0	41,0
Cadmio (Cd)	39,0	39,0
Cobre (Cu)	1.500,0	1.500,0
Cromo (Cr)	3.000,0	3.000,0
Mercurio (Hg)	17,0	17,0
Níquel (Ni)	420,0	420,0
Plomo (Pb)	300,0	300,0
Selenio (Se)	36,0	100,0
Zinc (Zn)	2.800,0	2.800,0

¹Decreto 1287²40CFR parte 503

En la normativa dada por Argentina, Chile y Colombia se establece el seguimiento de los biosólidos mediante un análisis de su composición siguiendo

la frecuencia que se muestra en la Tabla 4. De acuerdo con la producción de biosólidos generados al año, dicha frecuencia varía.

Tabla 4. Frecuencia de Análisis

Cantidad de biosólidos generados (t/año)	Periodicidad
Menor que 300	Cada doce (12) meses
Igual o mayor que 300 y menor que 1.500	Cada tres (3) meses
Igual o mayor que 1.500 y menor que 15.000	Cada dos (2) meses
Igual o mayor que 15.000	Cada mes

Conclusiones

Se observa que en algunos metales los valores máximos permisibles para Argentina son más elevados, se debe tener mucho cuidado en estos aspectos dado que pueden generar problemas ambientales y de salubridad para la población puesto que estos biosólidos son utilizados en la agricultura.

También se encontró que el reglamento colombiano, a diferencia de los reglamentos de los otros dos países, no tiene en cuenta porcentajes de: pendiente y pH del suelo para la aplicación de los biosólidos en los terrenos que se desean mejorar su composición.

Según las normas establecidas de los países mencionados en este artículo, fue posible identificar que Chile no presenta valores máximos de aplicación como los otros países, pero presenta un plan de aplicación.

Respecto a Argentina y Colombia se percibe que varios de sus criterios presentan unos valores con una gran diferencia uno respecto al otro, además la normatividad argentina no tiene en cuenta los valores de Selenio en biosólidos, mientras que el reglamento colombiano maneja los mismos valores y los mismos parámetros que la normativa usada como referencia, US EPA.

En la tasa acumulativa de aplicación se evidencia que no se encuentran valores de dicho parámetro en las normativas de Argentina y Chile, por su parte, Colombia presenta los mismos valores a los de la normativa usada como referencia, con excepción del parámetro de selenio.

Con respecto a las frecuencias de análisis, a diferencia de los demás parámetros es un punto en común en todas las normativas relacionadas, esto, debido a que la composición del biosólido varía de acuerdo al agua residual que ingrese a la planta y además a la precipitación de la zona.

Literatura citada

1. Alcota, C. (2002). Acondicionamiento de Biosólidos Mediante Compostaje. (tesis de pregrado) Ingeniería Civil. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. 175p.
2. Bustamante, M. (1999). Diseño conceptual de la disposición de lodos y biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas. (tesis de pregrado) ingeniería civil, Universidad de Chile.
3. Cazorra, T. (1994). Programa de saneamiento de las aguas residuales urbanas de cataluña: línea de fangos, jornadas técnicas: biosólidos y aguas depuradas como recursos. R. Mujeriego y L. Sala (Eds.). Pág. 31-43. Sant Feliu de Guísols, Gerona.
4. Cortez, E. (2003). Fundamentos de ingeniería para el tratamiento de biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana. (tesis de pregrado) Ingeniería Civil. Universidad de Chile.
5. Crohn, D.M. (1995). Sustainability of sewage sludge land application to northern hardwood forests. *Ecological Applications*. 5(1), 53-62.
6. Dáguer, G., & Paolo, G. (2000). Gestión de biosólidos en Colombia. ACODAL.
7. Dégremont (1980) Manual técnico del agua, Bilbao. Páginas 105-473, 749-781.
8. Davis, R.D. (1994). Planning the best strategy for sludge treatment and disposal operations. *Water Science and Technology*. 30(8), 149-158.
9. Decreto N° 1287, Por el cual se establecen criterios para el uso de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales, Bogotá D.C, Colombia, 10 de julio 2014.
10. Decreto Supremo N° 004, Reglamento para el manejo de lodos generados en plantas de aguas servidas, Santiago, Chile, 30 de enero 2009.
11. EPA (1994). A Plain English Guide to the USEPA, Part 503 Biosolids Rule.
12. Gutiérrez A., Mahamud M. & Sastre H. (1996). Biosólidos Generados En La Depuración De Aguas (I): Planteamiento del problema. *Revista Ingeniería de Agua*, Vol. 3 Núm. 2. Departamento de Ingeniería Química y Tecnología del Medio Ambiente. Universidad de Oviedo.
13. Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. *Urban development series knowledge papers*, 15, 1-98.
14. Kuchenrither, R.D. (1992). The objectives of sludge treatment, sludge 2000 Conference, Paper 6, Cambridge.
15. Lester N. (1987a). Heavy metals in wastewater and sludge treatment processes. Vol. 1. Sources, analysis and legislation. CRC Press, Florida.

16. Metcalf & Eddy, Inc. (1985). Ingeniería sanitaria: tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales, 2da Edición. Editorial Labor, S.A. Barcelona. 969p.
17. Metcalf & Eddy, Inc. 1996. Wastewater Engineering. 4^a ed. Volumen 1. McGraw-Hill. Estados Unidos 752 pp.
18. Novotny, V. & Olem, H. (1994) Water quality: prevention, identification and management of diffuse pollution. Van Nostrand Reinhold, New York. 1054 pp.
19. Rámila, G., Sebastián, I. & Rojas, B. (2008). Alternativas de uso y disposición de Biosólidos y su impacto en las tarifas de agua. Seminario Ingeniero Comercial Mención Administración. Santiago, Chile. Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, 9-28.
20. Resolución N° 97, Reglamento para el manejo sustentable de barros generados en plantas de tratamiento de efluentes líquidos, Buenos Aires, Argentina, 22 de noviembre del 2001.
21. Reynolds, K. A. (2001). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. Latinoamérica, 48-49.
22. Rich, L.G. (1982). A cost-effective system for the aerobic stabilization and disposal of waste activated sludge solids. *Water Research*. 16, 535-542.
23. Sastre, H. (1995). Biosólidos: problemática, tratamientos, alternativas de uso y tendencias futuras. Conferencia, II jornadas sobre medio ambiente en Asturias, Jorma95, Oviedo.
24. Toro F. (2005). Areas potenciales para la aplicación de biosólidos en plantaciones forestales de la vi región de Chile. departamento de manejo de recursos forestales, escuela de ciencias forestales, facultad de ciencias forestales - Universidad De Chile.
25. Vélez Z. J. (2007). Los biosólidos: ¿una solución o un problema? Empresas Públicas de Medellín E.S.P. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.
26. Whitehouse, L., Wang, H., & Tomer, M. (2000). Guidelines for utilisation of sewage effluent on land. Part two: issues for design and management. Rotorua, New Zealand.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: septiembre 06 de 2016

Aceptado: octubre 29 de 2016

Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia

Technical analysis, socio-economic and environmental of the electrification with photovoltaics isolated for rural housing in Hato Corozal, Casanare, Colombia

Análise técnica, socioeconômica e ambiental da eletrificação solar fotovoltaica para a habitação rural isolada em Hato Corozal, Casanare, Colombia

Edwin Blasnilo Rúa Ramírez¹, Andrea Isabel Barrera Siabato², Martín Gómez Orduz³

¹Ingeniero Mecánico, Master Oficial de Investigación en Ingeniería Termodinámica de Fluidos, Magister en Gerencia de Empresas mención Industria, Máster en Ingeniería de Climatización de Edificios, Candidato a Doctor en Proyectos en la Universidad Iberoamericana de México. ²Ingeniera Industrial, Especialista en Salud Ocupacional, Magister en Dirección y Administración de Empresas.

³Licenciado en Física y Matemáticas, Especialista en Educación Superior a Distancia, Master Online Education.

^{1,2,3}Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías –ECBTI. Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD. Yopal, Casanare. Colombia.

¹edwin.rua@unad.edu.co; ²andrei.barrera@unad.edu.co; ³martin.gomez@unad.edu.co

Resumen

La electrificación con energía solar fotovoltaica aislada es la opción más viable para vivienda rural, en especial si se encuentra muy distante del sistema nacional interconectado. Hato Corozal, Casanare, Colombia, es un municipio estructurado en su área rural por fincas muy alejadas entre sí. Su mayor inconveniente de desarrollo social y económico es la falta de electricidad como servicio de primera necesidad. La gobernación de Casanare a través del fondo nacional de regalías aprobó la instalación de 206 sistemas solares fotovoltaicos (SFV) a las familias más alejadas y más vulnerables del municipio. El objetivo principal de esta investigación fue realizar una evaluación socio-económica de las familias de la zona rural del municipio, beneficiadas con la instalación de estos sistemas SFV. Además, se realizó un

análisis técnico de simulación de la operación del SFV dimensionado con 2 días sin sol y luego 12 días con sol, también se hizo una simulación de la operación del SFV dimensionado con 14 días con sol. Esta investigación se abordó desde el enfoque metodológico descriptivo y de investigación aplicada de campo que incluyó visita a las viviendas, aplicación, análisis de instrumentos y registro fotográfico. Los resultados presentan gran incidencia desde un enfoque social, económico y ambiental que puede llegar a ser implementado en otras áreas rurales del país como ejemplo de uso de tecnologías limpias en favor del desarrollo rural sostenible.

Palabras clave: Energía Solar Fotovoltaica, redes cableado, electrificación rural.

Abstract

The electrification with solar PV isolation is the most viable option for rural housing, especially if it is very distant from the national interconnected system. Hato Corozal, Casanare, Colombia, is a municipality structured in its rural area by farms very far away from each other. Its major drawback of social and economic development is the lack of electricity as a service of first necessity. Casanare governorate through the royalties national fund approved the installation of 206 solar photovoltaic systems (SFV) from families farthest and most vulnerable of the municipality. The main objective of this research was to conduct a socio-economic evaluation of the families in the rural area of the municipality, benefited with the installation of these systems SFV. In addition, a technical analysis of simulation of the operation of the SFV dimensioned 2 days without Sun and then 12 days with Sun, also did a simulation of the operation of the SFV dimensioned with 14 days with Sun. This research was addressed from the descriptive methodological approach and applied field research which included visits to homes, application, analysis instruments and photographic record. The results have great incidence from a social, economic and environmental approach that can be implemented in other rural areas of the country as an example of the use of clean technologies in favor of sustainable rural development.

Key-words: Photovoltaic Solar Energy, networks wiring, rural electrification.

Resumo

A eletrificação com energia solar fotovoltaica isolada é a opção mais viável para a moradia rural, especialmente se o local encontra-se afastado do sistema nacional interconectado. Hato Corozal, Casanare, Colômbia, é uma localidade estruturada na área rural por fazendas afastadas entre elas. Seu maior problema de desenvolvimento social e econômico é a falta de energia como serviço básico. A governação de Casanare, através do fundo nacional de regalias aprovou a instalação de 206 sistemas solares fotovoltaicos (SFV) às famílias mais afastadas e vulneráveis da localidade. O objetivo principal deste trabalho de pesquisa foi realizar uma avaliação socioeconômica das famílias da zona rural da localidade, beneficiadas com a instalação dos sistemas SFV. Além disso, foi realizada uma análise técnica de simulação da operação do SFV dimensionado com 2 dias sem sol e logo após foi feita uma simulação da operação do SFV dimensionado com 14 dias com sol. Esta pesquisa, teve uma abordagem metodológica descritiva e de pesquisa aplicada de campo que incluía visitas às moradias, aplicação, análises de instrumentação e registro fotográfico. Os resultados mostram uma grande incidência desde a parte social, econômica e ambiental, que pode ser usada em outras áreas rurais do país, por exemplo, o uso de tecnologias limpas que favoreçam o desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, redes a cabo, eletrificação rural.

Introducción

Dentro de la nueva agenda para el desarrollo sostenible propuesta en 2012 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), se plantean 17 objetivos (Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS) entre los cuales la meta 7 es precisamente garantizar el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (PNUD, 2012). El logro de este objetivo es particularmente relevante en países en vías de desarrollo y especialmente en comunidades rurales aisladas, pues la falta de provisión de

fuentes de energía modernas, amplía las brechas de desigualdad social, cultural, ambiental y económica de manera dramática. Iniciativas como The Sustainable Energy for All (IEA, UNDP, UNIDO (s.f.); Modi *et al.*, 2005) y la declaración por parte de la asamblea de las Naciones Unidas de la década 2014-2024 como la década de la energía sostenible demuestran la importancia del tema en la agenda de todos los países del planeta (Aguer *et al.*, 2004).

La electricidad, vector energético que es el foco de esta evaluación, es considerada una de las fuentes de energía moderna que ha permitido un mayor avance en los indicadores de desarrollo humano (IDH), y de hecho existe una fuerte correlación entre la una y la otra (CEPAL ONU, 2009), a menores consumos de energía provenientes de fuentes modernas, se acompañan invariablemente de menores IDH. No obstante, el sólo acceso a esta fuente de energía no garantiza por sí sola un impacto en términos de mejora en calidad de vida, ingresos, o reducción de pobreza en particular en las zonas rurales (Cherny, 2004). La electricidad no debe representar un fin en sí mismo, y por tanto el enfoque de cobertura del servicio de los gobiernos debe ser urgentemente redefinido (Garcés, 2013).

En el llamado trilema de la sostenibilidad energética planteado por el Concejo Mundial de la Energía -WET por sus siglas en inglés- se involucran: la seguridad energética en términos de satisfacer la demanda de energía actual y futura en adecuada cantidad y calidad; la equidad social en cuanto a la accesibilidad y asequibilidad del suministro de energía para toda la población; y la sostenibilidad ambiental tanto del suministro como de la demanda, así como la inclusión de oferta renovable (WET, 2012).

De esto se desprende que la universalización del servicio de energía eléctrica debe ser analizada y evaluada en un contexto amplio de elementos fuertemente interrelacionados en los cuales características sociales, culturales, económicas, ambientales y geográficas condicionarán la oferta y el uso de la energía, los requerimientos de cantidad y la sostenibilidad de la canasta energética disponible para cada caso particular.

Según el Plan Indicativo de Expansión y Cobertura 2013-2017 PIEC (Sánchez, 2010) elaborado por la Unidad de Planeación Minero Energética -UPME- del Ministerio de Minas y Energía, se encuentra que para el caso de Colombia el Índice de Cobertura de Energía Eléctrica -ICEE- al 2012 era del 96,1%, es decir que según este censo 470.244 viviendas no cuentan con servicio de energía

eléctrica (3,9% del total nacional), de las cuales se estima que el 91,98%, que representan alrededor de 432.530 viviendas, están ubicadas fuera de las cabeceras municipales, es decir en zonas rurales y que de éstas aproximadamente 55.809 viviendas (0,46% del total nacional) no son interconectables al sistema eléctrico nacional -SIN-, es decir requieren soluciones aisladas.

Hato Corozal, Casanare, tiene una extensión de 5.518 km² y una población aproximada de 11.500 habitantes. Se encuentra a una altitud de 250 msnm, con temperaturas de 25 a 27 °C. La extensión área urbana es de 1.6 km² y la extensión área rural es de 5.516.59 km². La mayor parte de la población rural presenta altos índices de Necesidades Básicas Insatisfechas -NBI-, no cuentan con energía eléctrica, ni servicios como agua potable y alcantarillado, hay un alto déficit de infraestructura como vías, redes de distribución y comunicaciones (Miguel, 2014).

En este contexto las soluciones de energía solar fotovoltaica emergen como una alternativa válida desde la perspectiva del trilema energético planteado por la WEC, y es así como la gobernación de Casanare pensando en mejorar la calidad de vida de la población rural, a través del Fondo Nacional de Regalías, aprobó recursos para la Instalación de 206 sistemas de energía alternativa solar fotovoltaicas para viviendas rurales del municipio de Hato Corozal en zonas no interconectadas (Concejo municipal de Yopal, 2012: Empresa de Energía de Casanare, 2003).

Materiales y métodos

Se realizó una investigación de tipo descriptivo e investigación aplicada de campo, se valoró la instalación de doscientos seis (206) sistemas solares fotovoltaicos en viviendas rurales aisladas del municipio de Hato Corozal, Casanare. La información fue recolectada a través de fuentes primarias: medición, observación directa, encuestas, cuestionarios, entrevistas a los beneficiados, y fuentes secundarias: bibliográficas y documentos gubernamentales provenientes de la Cámara de comercio, Consorcio Hato Solar.

El trabajo de campo incluyó visitas a las viviendas favorecidas, registro fotográfico, georreferenciación con equipo GPS y la aplicación de un instrumento cuestionario – encuesta tipo escalamiento Likert. La validación del cuestionario - encuesta se hizo a través de prueba piloto y validación por expertos. Para la determinación del tamaño de la muestra se emplearon características del muestreo aleatorio simple para poblaciones finitas, dado que este tipo de muestreo permite determinar el número de encuestas teniendo en cuenta los siguientes aspectos: Cálculo del tamaño de muestra empleando un 95% de confianza y un margen de error del 5%, distribución proporcional, de acuerdo a los predios objeto de estudio, con el objeto de tener una muestra con características lo suficientemente representativas para el estudio. Con base en lo anterior se definió muestrear 132 viviendas rurales.

Para el análisis estadístico de datos se aplicó el análisis de varias variables, estadística descriptiva y muestreo. Se analizaron la interrelación entre los valores de variables nominales según distribución de casos. Se utilizó el software estadístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) versión 23.0 para el análisis de los datos.

Resultados y discusión

Los resultados se abordan desde el enfoque técnico con la evaluación del sistema y posteriormente se presenta el análisis respectivo a partir del instrumento empleado en la recolección de la información.

Análisis Técnico

La selección o escogencia del suministro de energía a través de tecnología solar fotovoltaica se realizó luego de un exhaustivo análisis que comprendió aspectos como la cantidad de energía demandada, evaluación de la disponibilidad del recurso y el desempeño mínimo esperado. Desde el enfoque de consumo, la base de partida para un correcto programa de energización rural es la comprensión de las necesidades de los usuarios que van a emplear

la fuente de energía, es decir los usos que van a darse para el mejoramiento de su calidad de vida (IDH), con el aumento o mejora de actividades o procesos que les permitan obtener ingresos y mejorar su productividad.

En la resolución 355 de 2004 de la UPME, se define como consumo de subsistencia, la cantidad mínima de electricidad utilizada en un mes por un usuario típico para satisfacer las necesidades básicas que solamente puedan ser satisfechas mediante esta forma de energía final. Se establece el Consumo de Subsistencia en 173 kWh-mes para alturas inferiores a 1.000 msnm (Ministerio de Minas y Energía, 2013). Esto para el servicio prestado por redes físicas, según lo establecido en el artículo 8 de la ley 632 del 2000 (Domenech, 2013).

Sin embargo, según el PIEC 2014-2017 (Ministerio de Minas y Energía, 2013) se considera un consumo promedio mensual de energía eléctrica para usuarios residenciales en áreas rurales del sistema interconectado nacional del orden de los 92 kWh-mes. Con lo que se ajusta a un valor más real de la demanda que los usuarios de áreas rurales requieren de esta fuente de energía. Al revisar las cifras reportadas por la empresa prestadora del servicio eléctrico en el departamento de Casanare, se encuentra que el consumo de energía eléctrica promedio para viviendas de estrato 1 es de 80 kWh-mes, lo que equivale a un consumo promedio de 2,67 kWh-día (Empresa de Energía del Casanare, 2003). Se considera que estos 80 kWh-mes son la cantidad de energía eléctrica mínima que debe ser garantizada por la fuente que provea la solución a los usuarios rurales dispersos en el municipio de Hato Corozal. Ahora bien, frente al análisis de la oferta y la demanda, Para abastecer esta demanda de energía se tienen diferentes alternativas: la primera es llevar el servicio extendiendo las redes físicas del sistema interconectado, la segunda es con equipos electrógenos, plantas diésel o gasolina, y como tercera alternativa a través de soluciones solares fotovoltaicas aisladas.

Cuando se presentan situaciones de alta dispersión de los beneficiarios la opción de extender redes se

hace demasiado costosa, y si a este factor se agrega el de baja demanda de energía el resultado es prácticamente inviable cualquier proyecto por los altos costos que se erogan de este tipo de proyectos siendo entonces las soluciones fotovoltaicas una opción atractiva gracias a los bajos costos de instalación (Gasquet, 2004).

Con el fin de dimensionar el desempeño del sistema frente a las evaluaciones económica y Financiera la Tabla 1 presenta un comparativo de costos de inversión del Sistema de Interconexión Eléctrica Nacional SIN versus El Sistema Fotovoltaico SFV para suministro de energía eléctrica a una vivienda rural de estrato 1 en el departamento de Casanare.

Tabla 1. Comparativo costos de inversión SIN Vs SFV

	SIN		S. FV.
	Red Rural 13,2 KV	Red Rural baja tensión	Aislado
Costo de inversión	\$ 22,351,780	\$21.247.050	\$19,991,700
Distancia a vivienda	750 m	600 m	10 m

Fuente: Empresa de Energía del Casanare, (2003).

Se observa que es más económico invertir en el SFV que en el SIN para suministrar electricidad a una vivienda rural estrato 1 en Casanare, cuando esté a más de 750 metros de la red de interconexión en nivel de tensión 2 (13,2 KV 2Ø) o esté a más de 600 metros de la red de interconexión en nivel de tensión 1 (1Ø – 3 H - baja tensión).

Con respecto a la verificación del correcto funcionamiento del SFV se analizaron dos simulaciones para observar su desempeño con 14 días soleados, y con dos días sin sol y luego doce días soleados. En las Figuras 1 y 2, se observa el desempeño del SFV en las dos condiciones analizadas.

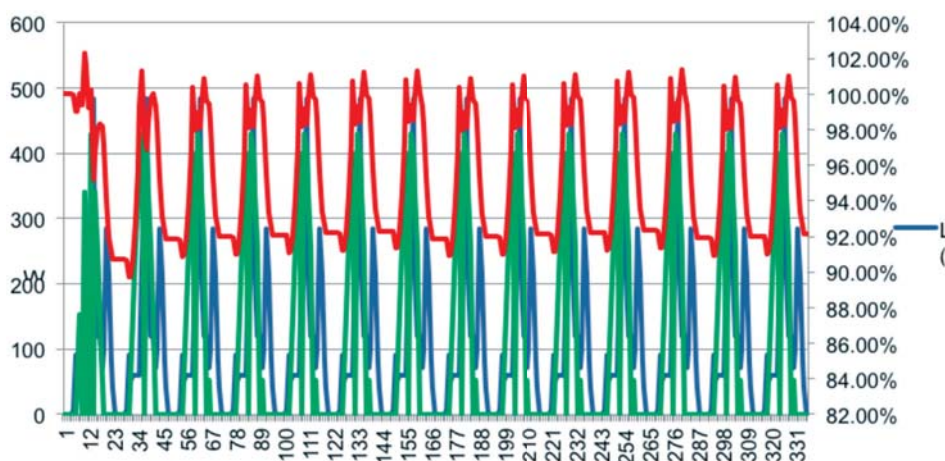


Figura 1. Simulación de la operación del SFV dimensionado con 14 días con sol

Dónde: L es el consumo energético horario de la vivienda rural estrato 1 en Wh.
 EFV es la energía suministrada directamente a la carga por el sistema fotovoltaico en Wh.
 SOC es el estado de carga del banco de baterías.

En la Figura 1 se observa cómo el banco de baterías mantiene diariamente un estado de carga mínimo del 89% cuando todos los días son soleados, atendiendo todo el día el servicio de energía

eléctrica demandado por la vivienda con el SFV con acumulación diseñado, con una profundidad de descarga máxima diaria del banco de baterías del 11%.

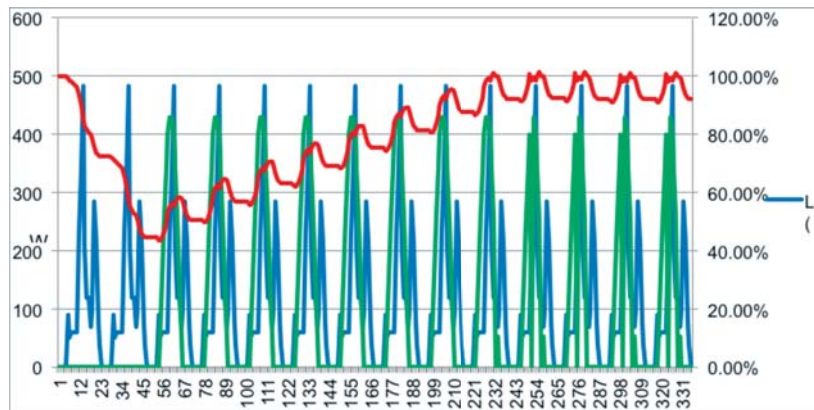


Figura 2. Simulación de la operación del SFV dimensionado con 2 días sin sol y luego 12 días con sol.

En la Figura 2 se observa cómo el banco de baterías atiende diariamente durante dos días sin sol el servicio de energía eléctrica demandado por la vivienda, con una profundidad de descarga máxima del banco de baterías del 56% -estado de carga mínima del 44%-, garantizando una autonomía de dos días alimentando la carga de la vivienda, sin que las baterías sufran una profundidad de descarga superior al 60%. De la gráfica también se observa que luego de los dos días sin sol, al tener sol durante doce días, el banco de baterías va recuperando diariamente su estado de carga hasta llegar a un valor mínimo del 85% -profundidad de descarga del 15%), atendiendo el servicio de energía eléctrica demandado por la instalación.

Análisis Socioeconómico:

Para la evaluación socioeconómica se aplicó el instrumento – cuestionario a una muestra de 132 viviendas, según lo calculado para una población total de 206 usuarios beneficiados, las características principales y sus respectivos resultados se muestran a en las Figuras 3 a 10.

Frente al material de construcción de la vivienda un 93 % de los usuarios fabricaron sus viviendas en Bloque o ladrillo, solo un 1 % construyeron sus hogares en Zinc para un total de 3 usuarios (Figura 3).

Para el caso del material de los pisos de las viviendas analizadas el de menor uso es el de Baldosa con 3 ítems, el de mayor uso corresponde a Cemento, seguido por el de tierra (Figura 4).

Frente al material en que está construido el techo los principales corresponden a Zinc y Palma, los de menor índice corresponden a teja eternit u otro material el cual no se especifica (Figura 5).

Aproximadamente en el 37.1% de los predios viven más de 4 personas, solo en 18 (8.6 %) Hogares de los encuestados habitan 2 personas (Figura 6).

El 93% de los habitantes obtienen el agua de pozo profundo, con motobomba a base de combustible. La electrificación con S. Fv. Les permite instalar electrobombas y así reducir el consumo de combustibles. Lo que también les trae un ahorro económico mensual (Figura 7).

Aproximadamente el 67% de los habitantes cuentan con baño a pozo séptico, el 30% no tienen sanitario y el 3% tienen inodoro sin conexión o letrina (Figura 8).

El 83% de las viviendas utilizan velas y linternas de pilas para iluminar. El restante utiliza lámparas de gasolina y otros medios. Este proyecto les permitirá mejorar la iluminación de la vivienda con bombillos leds y evitar el consumo de combustibles y velas (Figura 9).

Se identifica que las viviendas objeto del estudio eliminan las basuras a través de la quema y en último lugar mediante la recolección de las mismas (Figura 10).

Los resultados de las encuestas demostraron que la población beneficiada es 100% estrato 1, el uso de la vivienda es residencial, la actividad principal es la agricultura y ganadería, la fuente de agua para el consumo humano el 93% la obtienen de pozo profundo con bomba. La mayoría de las casas tienen piso de tierra o cemento, los techos de las viviendas son de zinc y otras de palma, el 30% de las viviendas no tienen inodoro con pozo séptico, no existe alcantarillado, el 83% usaban velas y linternas para iluminación, La mayoría de las viviendas queman la basura.



Figura 3. Material de construcción de vivienda

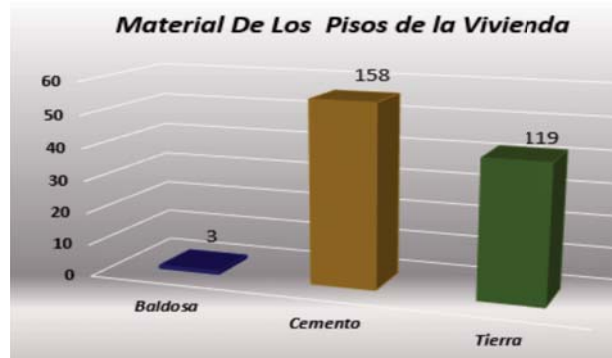


Figura 4. Material de los pisos de la vivienda



Figura 5. Material de construcción del techo de la vivienda



Figura 6. Número de personas por vivienda

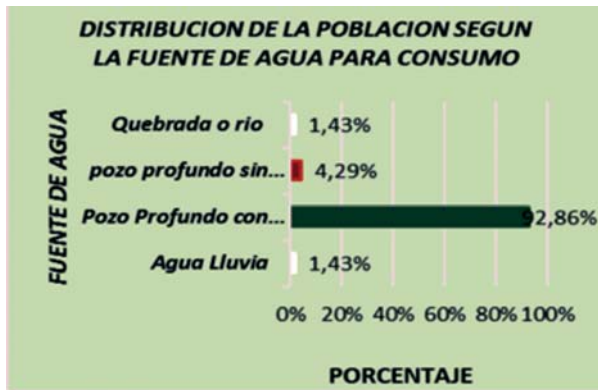


Figura 7. Fuente de agua para consumo



Figura 9. Fuente de iluminación de la vivienda



Figura 8. Tipo de sanitario de la vivienda

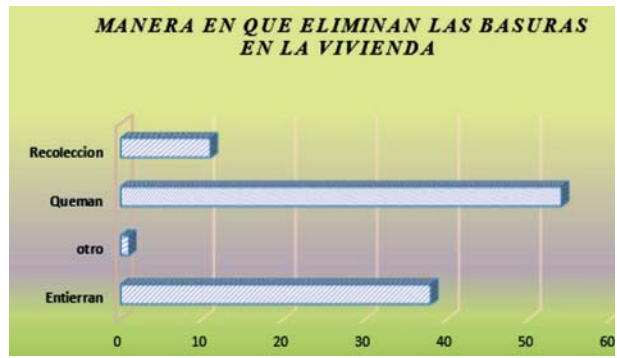


Figura 10. Eliminación de basuras de la vivienda

Análisis Ambiental

Finalmente, en lo relacionado con el aspecto ambiental se destaca que el SFV emite un 71,3% menos de GEI Gases Efecto Invernadero que los que emite el SIN, con una reducción en emisiones equivalente a 162 Kg CO_{2eq} / año por cada usuario

(Tabla 2). El SFV produce muy bajo impacto ambiental pues es considerada una energía renovable y limpia, y al ser instalada cerca de la vivienda rural no requiere de tala de bosques y vegetación como si sucede con las redes rurales del SIN.

Tabla 2. Emisiones de Gases Efecto Invernadero

Tipo de Fuente	Energía Producida SFV KWh/año	Emisiones GEI	
		g CO _{2eq} /KWh	kg CO _{2eq} /año
SIN Colombia	1251	195	244
Solar FV 1110 Wp	1251	56	70
Reducción emisión			174
% Reducción emisión			71.3%

Conclusiones y recomendaciones

Se pudo evidenciar que la potencia eléctrica instalada a través de este sistema solar fotovoltaico cubre las necesidades energéticas de una vivienda unifamiliar con grandes ventajas en rentabilidad económica e impacto ambiental. La población beneficiada recibió capacitación en el uso y manejo de este sistema solar fotovoltaico para vivienda aislada a través de instructores del SENA, quienes orientaron de forma teórica y práctica a los habitantes. La ubicación geográfica de Hato Corozal y sus condiciones climáticas son favorables para el buen funcionamiento y eficiencia de los paneles solares.

Dada la actual problemática mundial, derivada del calentamiento global y el cambio climático por el uso exuberante de los combustibles fósiles, la energía solar fotovoltaica es una gran alternativa como fuente de suministro energético cuyo uso debería justificarse por encima de consideraciones económicas. Sin embargo, gracias al desarrollo tecnológico que ha experimentado el sector solar, hoy día está por encima de cualquier otro tipo de energía renovable o de generación eléctrica.

En cuanto a las energías renovables la mayoría no tenía conocimiento en el tema, recibieron capacitación de instructores del SENA. Estuvieron muy atentos en la instalación y puesta en funcionamiento del SFV, recibieron a gusto y se comprometieron a darle un buen uso y seguir las instrucciones de los instructores y de los instaladores.

Para el diseño del sistema se debe conocer la radiación solar a través de mapas de la UPME, Establecer las necesidades energéticas de la comunidad o de la familia, seleccionar y cotizar los componentes del sistema. Para la instalación se debe verificar la orientación e inclinación de los paneles más eficiente, consultar a técnicos y especialistas en el tema. Analizar técnicamente la producción energética y a través de capacitación, procurar valorar y hacer un buen uso del sistema.

Este sistema de energía requiere de inversiones que pueden ser asumidas por sectores económicos fuertes como alcaldías municipales, ONGS, cooperación internacional y empresarios.

Literatura citada

1. Aguer M., Jutglar L. & Miranda A. (2004). El ahorro energético, Ediciones Díaz de Santos, Estudios de viabilidad económica. España.
2. Comisión Económica para América Latina y el Caribe CEPAL, Naciones Unidas (2009). Contribución de los servicios energéticos a los objetivos de desarrollo del milenio y a la mitigación de la pobreza en América Latina y el Caribe, Santiago de Chile.
3. Concejo municipal de Yopal. (2012). Plan de desarrollo "Yopal con sentido social 2012-2015", Yopal, Casanare, Colombia.
4. Cherny, J. (2004). Renewable energy for sustainable rural livelihoods resurl technical report, Imperial College London.
5. Domenech, L. B. (2013). Metodología para el diseño de sistemas de electrificación autónomos para comunidades rurales, (Tesis doctoral), Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
6. PNUD. (2012). Energía asequible y sostenible. Recuperado de <http://www.undp.org/content/undp/es/home/sd-governview/post-2015-development-agenda/goal-7.html>
7. Empresa de Energía de Casanare. (2003). Informe ejecutivo de gestión. Recuperado de: [http://www.su-perservicios.gov.co/content/download/2003/21285/version/1/file/\(2013\)+INFORME+EJECUTIVO+DE++D+E+GESTION+EMPRESA+DE+ENERGIA+DE+CASA+NARE+SA+ESP.pdf](http://www.su-perservicios.gov.co/content/download/2003/21285/version/1/file/(2013)+INFORME+EJECUTIVO+DE++D+E+GESTION+EMPRESA+DE+ENERGIA+DE+CASA+NARE+SA+ESP.pdf).
8. IEA, UNDP, UNIDO. (s.f.). worldenergyoutlook.org. Recuperado de: http://www.worldenergyoutlook.org/media/weowebiste/energydevelopment/weo2010_poverty.pdf
9. Garcés, P. (2013). Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), Energía Sostenible, Perspectiva Regional: Centroamérica – América Latina y el Caribe, Seminario Regional de Capacitación para América Central (SICA).
10. Gasquet, H. L. (2004). Conversión de la luz solar en energía eléctrica, manual teórico y práctico sobre los sistemas fotovoltaicos. Solartronic, S.A. de C.V. Departamento de Información Científica y Técnica Cuernavaca, Morelos, México.
11. Javadi, F.S. Rismanchi B. Sarraf M. Afshar O. Saidur R. Ping H.W. & Rahim N.A. (2013). Global policy of rural electrification. Energy for Sustainable Development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. Elsevier* 402 – 416. 324-329.
12. Kebir, N. & Neumann, K. (2011) Research needs for meeting the challenge of decentralized energy supply in developing countries.

13. Miguel A. (2014). Veredas de Hato Corozal tendrán electricidad a partir de radiación solar. Recuperado de: <http://prensalibrecajanare.com/casanare/13662-veredas-de-hato-corozal-tendrhn-electricidad-a-partir-de-radiaciun-solar.html>
14. Modi V, McDade S, Lallement D. & Saghir J. (2005). Energy and the Millennium Development Goals. Energy Sector Management Assistance Programme, United Nations Development Programme, UN Millennium Project, and World Bank.
15. Pinto, F. (2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. el caso de la vereda carrizal en sutamarchán. *Cuadernos de desarrollo Rural*.
16. Ministerio de Minas y Energía (2013). Plan indicativo de expansión de cobertura de energía eléctrica (2013 – 2017), República de Colombia, Unidad de Planeación Minero Energética – UPME.
17. Richard A. & Itusaca C. (2010) Cálculo de la energía generada por un sistema fotovoltaico conectado a red a 3800 msnm, Universidad Nacional del Altiplano Puno, IV Conferencia Latino Americana de Energía Solar (IV ISES_CLA) y XVII Simposio Peruano de Energía Solar (XVII-SPES). Cusco.
18. Sánchez, C. (2010). Sistemas de energía solar fotovoltaica aplicados a viviendas residenciales en entorno urbano. Universidad Internacional de Andalucía, ISBN 978-84-693-3769-1, España.
19. World Energy Trilemma WET. (2012). El trilema energético. Recuperado de <https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2012/12/Trilema-Energ%C3%A9tico-2012-Espanol.pdf>

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: julio 25 de 2016

Aceptado: agosto 30 de 2016

Cómo citar los artículos publicados en el volumen 8 (2017)

Volumen 8 Número 1 enero-junio 2017

Artículos de Investigación

Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia

Castro Quintero, A.F., Lince Salazar, L.A. & Riaño Melo, O. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 17-26

Estimation of the transfer of vascular epiphytes, as a conservation strategy in the municipality of Aguazul, Casanare, Colombia

Orozco Ávila, J., Valencia Marín, A. & Betancur Pérez, J. (2017). Estimation of the transfer of vascular epiphytes, as a conservation strategy in the municipality of Aguazul, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 27-38

Liberación ruminal de cuatro fuentes inorgánicas de magnesio por medio de la técnica *in situ* en ganado holstein en trópico alto

Cuervo Vivas, W.A. & Correa Cardona, H.J. (2017) Liberación ruminal de cuatro fuentes inorgánicas de magnesio por medio de la técnica *in situ* en ganado holstein en trópico alto. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 39-52

Cambios en la orientación productiva en el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México. ¿De chiveros a porcicultores?

Jiménez Jiménez, R., Martínez Santibáñez, A., Espinosa Ortiz, V., Rendón Rendón, M.C. & Chávez Pérez, L.M. (2017). Cambios en la orientación productiva en el Garbanzo, Irapuato, Guanajuato, México. ¿De chiveros a porcicultores? *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 53-62

Isolamento de lectinas por cromatografía de afinidade

Torres Romero, J.C, Ortega Torres, M., Infante Betancour, J.A. & Maia Cavalcante, C.A. (2017). Isolamento de lectinas por cromatografía de afinidade. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 63-70

Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia

Montenegro Gómez, S.P., Barrera Berdugo, S. E. & Valencia, C.M. (2017). Bioprospección de hongos micorrízicos arbusculares como alternativa para el fortalecimiento del cultivo de aguacate (*Persea americana* Miller) en Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 71-80

Friabilidad del suelo: métodos de estimación con énfasis en la determinación cuantitativa de la resistencia al rompimiento

Ávila Pedraza, E.A. (2017). Friabilidad del suelo: métodos de estimación con énfasis en la determinación cuantitativa de la resistencia al rompimiento. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 81-94

Marco teórico para la construcción de una propuesta de turismo rural comunitario

Vinasco Guzmán, M.C. (2017). Marco teórico para la construcción de una propuesta de turismo rural comunitario. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8 (1), 95-106

Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (*C. Zizanioides*) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia

Higuera Infante, S.K. (2017). Biofiltro con cascarilla de arroz y pasto vetiver (*C. Zizanioides*) para el tratamiento del efluente de la PTAR del INPEC – Yopal, Casanare, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 107-118

Biodegradación estimulada de los suelos contaminados con pesticidas organoclorados

Kopytko, M., Correa-Torres, S.N. & Estévez- Gómez, M.J. (2017). Biodegradación estimulada de los suelos contaminados con pesticidas organoclorados. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 119-130

Evaluación de la efectividad de distintas formulaciones de jabón con extracto de *Hypericum mexicanum* L.

Corzo-Barragán, D.C. & Gaitán-Vaca, D.M. (2017). Evaluación de la efectividad de distintas formulaciones de jabón con extracto de *Hypericum mexicanum* L. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 131-138

Efectos tóxicos del paracetamol en la salud humana y el ambiente

Acevedo-Barrios, R.L., Severiche-Sierra, C.A. & Jaimes Morales, J.C. (2017). Efectos tóxicos del paracetamol en la salud humana y el ambiente. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 139-150

Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación

Velásquez Arias, J.A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 151-168

Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia

Ostos Rojas, I.M., Collazos Morales, C.A., Castellanos Acuña, H.E. & Fernández Arévalo, C.P. (2017). Sistema híbrido fotovoltaico (FV) con interacción a la red para zonas rurales de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 169-182

Documentos de trabajo

Actividad antimicrobiana de extractos etanólicos de propóleos obtenidos de abejas *Apis mellifera*

Velásquez, B.D & Montenegro Gómez, S.P. (2017). *Actividad antimicrobiana de extractos etanólicos de propóleos obtenidos de abejas *Apis mellifera**. (Documento de trabajo [sin numeración](#)). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 183-194

Análisis de un modelo agroforestal cafetero en el municipio de Valparaíso, Caquetá, Colombia.

Dussan Huaca, I. (2017). *Análisis de un modelo agroforestal cafetero en el municipio de Valparaíso, Caquetá, Colombia*. (Documento de trabajo sin numeración). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 195-204

Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica*) en la remoción de contaminantes.

Pereira-Martínez, R.I., Muñoz-Paredes, J.F. & Peluffo-Ordoñez, D.H. (2017). *Empleo del estropajo común (*Luffa cylindrica*) en la remoción de contaminantes*. (Documento de trabajo sin numeración). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 205-216

Manejo de biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay

Melo Cerón, A.R., Rodríguez González, A. & González Guzmán, J.M. (2017). *Manejo de Biosólidos y su posible aplicación al suelo, caso Colombia y Uruguay*. (Documento de trabajo sin numeración). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 217-226

Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia

Ospina López, F. A., Rodríguez González, A. & González Guzmán, J.M. (2017). *Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia*. (Documento de trabajo sin numeración). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 227-238

Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia

Rúa Ramírez, E.B., Barrera Siabato, A. I. & Gómez Ordúz, M. (2017). *Análisis técnico, socioeconómico y ambiental de la electrificación con energía solar fotovoltaica aislada para vivienda rural en Hato Corozal, Casanare, Colombia*. (Documento de trabajo sin numeración). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA*, 8(1), 239-248

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 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.

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 contribuciones 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., Pa-

rets, 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 correcciones 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 subsections 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 division 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 axles. Axles 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 repor-

ted 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. *Engeniiering 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 sub-secções 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 delineamento 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 seção 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 (Seção 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 seção 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 seção 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. Van-Dorsten (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/eanim/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 seção 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 Comitê 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.

