

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

AGRARIA y AMBIENTAL

Volúmen 6 Número 1



Publicación oficial de la Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Bogotá, Colombia. Enero - Junio de 2015

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 6 Número 1 enero-julio de 2015
ISSN 2145-6097

Revista de Investigación Agraria y Ambiental

Volumen 6 Número 1 – enero-junio de 2015 – ISSN 2145-6097

Cuerpo directivo

JAIME ALBERTO LEAL AFANADOR

Rector UNAD

CONSTANZA ABADIA GARCÍA

Vicerrectora Académica y de Investigación

LEONARDO YUNDA PERLAZA

Vicerrector de Medios
y Mediaciones Pedagógicas

EDGAR GUILLERMO RODRÍGUEZ DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo Regional
y Proyección Comunitaria

MARTHA LUCIA DUQUE RAMIREZ

Vicerrector de Servicios a Aspirantes,
Estudiantes y Egresados

LUIGI HUMBERTO LOPEZ GUZMAN

Vicerrector de Relaciones Internacionales

JULIALBA ANGEL OSORIO

Decana Escuela de Ciencias Agrícolas,
Pecuarias y del Medio Ambiente

JULIALBA ANGEL OSORIO

Líder Nacional de Investigación UNAD

JORGE EDUARDO ATUESTA BUSTOS

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

DIRECTOR EDITOR

Reinaldo Giraldo Díaz

COEDITORA

Libia Esperanza Nieto Gómez

Comité editorial

FLÁVIO VIEIRA MEIRELLES

Médico Veterinario, Ph.D.
Universidad de São Paulo

NELSON PIRANEQUE GAMBASICA

Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Universidad del Magdalena

JUAN JOSÉ SILVA PUPO

Ingeniero Agrónomo, PhD en Ciencias
Agrícolas Universidad de Granma, Cuba

DAVID ENRIQUEZ ENRIQUEZ

Ingeniero Agrónomo, MSc
y PhD en Ciencias en Botánica
Universidad Autónoma de Zacatecas México

OSCAR EDUARDO SANCLEMENTE REYES

Ingeniero Ambiental, MSc, PhD en Agroecología
Universidad Nacional de Colombia

OSCAR EMERSON ZUÑIGA.

Ingeniero Agrónomo, Msc, Doutorando em educação,
Universidade Federal de Pernambuco UFPE Brasil.

JOSE ALEJANDRO CLEVES

Ingeniero Agrónomo, MSc en Ciencias
Agrarias Universidad Pedagógica y Tecnológica
de Colombia (UPTC)

SAMUEL ZIEM BONYE

B.A. y M.Phil. en Development Studies, Ph.D. (c)
University for Development Studies, Ghana

BEATRIZ EUGENIA CID AGUAYO

Socióloga, MSc y PhD en Sociología
Universidad de Concepción, Chile

MARTHA PATRICIA ESPAÑA

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, MSc,
PhD en Ciencias Biológicas
Universidad Autónoma de Zacatecas México

ROLANDO TITO BACCA IBARRA

Ingeniero Agrónomo, MSc, PhD en Entomología
Universidad de Nariño

Comité científico**HERNÁN JAIR ANDRADE CASTAÑEDA**

Ingeniero Agónomo, MSc, PhD
Universidad del Tolima

ALVEIRO SALAMANCA JIMÉNEZ

Ingeniero Agrónomo, PhD
University of California, Davis

ELISABETE FIGUEIREDO

Sociologa, PhD in Environmental Sciences
University of Aveiro

HUGO MARTÍNEZ HIGUERA

Ingeniero Forestal, MsC, PhD en Biología
Universidad del Tolima

PEDRO EMILIO MONDINO HINTZ

Ingenero Agrónomo, PhD en Agronomía
Universidad de la República – Uruguay

JUAN JAIRO RUÍZ ROJAS

Ingeniero Agrónomo, MSc, PhD,
Postdoctoral Associate, Crop Molecular Genetics
Virginia Polytechnic Institute and State University,
Blacksburg, Virginia, USA

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

“Caño las brujas, rio Inírida, Guainía. Colombia”. Tomada
y cedida a RIAA por Nohora Muñoz

Impresión

PICTOGRAMA S.A.S.

**INFORMACIÓN, CORRESPONDENCIA,
SUSCRIPCIONES Y CANJE REVISTA
DE INVESTIGACION 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) 3443700 ext. 1529
e-mail: riaa@unad.edu.co

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

Periodicidad: semestral

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

10

Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia

*Estimation of the carbon footprint of the production system of sugar cane (*Saccharum officinarum*) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia*

Estimativa da pegada de carbono do sistema de produção de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) em Palmira, Valle del Cauca, Colômbia

Hernán J. Andrade, Milena A. Segura & Juan Pablo Varona

19

Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia

Availability of Ca², Mg² and K depending on the properties of the soil, central coffee zone of Colombia

Disponibilidade de Ca^{2 +}, Mg^{2 +} e K⁺ em função das propriedades do solo, zona central cafeeira da Colômbia

Luz Adriana Lince Salazar, Nelson Rodríguez Valencia & Siavosh Sadeghian Khalajabadi

29

Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia

Influence of the intensity of use on some physical properties in a soil of the Valle del Cauca, Colombia

Influência da intensidade do uso, sobre algumas propriedades físicas em um solo de Valle del Cauca, Colômbia

Alveiro Salamanca Jiménez & Edgar Amézquita Collazos

43

Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte

Effect of ultraviolet radiation and the mycorrhizal colonization in pioneers trees from the eastern region of North America

Efeito da radiação ultravioleta e colonização micorrízica em árvores pioneiras do leste da América do Norte

Nilsen Lasso-Rivas

53

Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos

In-vitro conservation: a perspective for the management of phytogenetic resources

Conservação *in vitro*: uma perspectiva para a gestão dos recursos fitogenéticos

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Carolina Mancipe Murillo & Adriana Carolina Aguirre Morales

67

Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada

Filter cake and ash carbon: agro-industrial wastes with potential for biological nitrogen fertilization

Torta de filtro e cinza de carvão: resíduos agro-industriais com potencial de fertilização biológica nitrogenada

Sandra Patricia Montenegro Gómez, Milton Cesar Ararat & Jhon Fredy Betancur

83

Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies

Passiflora morphology: a guide for the description of species

Morfologia da *Passiflora*: Uma Guia para a descrição de espécies

Miguel Macgayver Bonilla Morales, Adriana Carolina Aguirre Morales & Oscar Manuel Agudelo Varela

91

Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes

Preliminary method of detection of biological pathogens in crops of Strawberry by means of digital image processing

Método de detecção preliminar de patógenos biológicos na cultura do morango por meio de processamento digital de imagens

Darío Amaya Hurtado & Juan David Sandino Mora

111

Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia

Levels and distribution of heavy metals in the water of the beach area of Riohacha, La Guajira, Colombia

Níveis e distribuição de metais pesados na água da área da praia de Riohacha, Guajira, Colômbia

Carlos Doria Argumedo & Haroldo Deluque Viloria

123

Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia.

Transmission systems of Ethnobotanical knowledge of edible wild plants in Turbo, Antioquia, Colombia.

Sistemas de transmissão de conhecimento etnobotânico de plantas silvestres comestíveis em Turbo, Antioquia, Colômbia.

Ramón Antonio Mosquera Mena, Tomas Santamaría Polo & Juan Carlos López Almansa

133

Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (*Prunus persica* L. Batsch cv. "RUBIDOUX")

*Quality parameters during the harvest of peach (*Prunus persica* (L. Batsch) cv. "Rubidoux")*

Parâmetros de qualidade durante a colheita de pêssego (*Prunus persica* L. Batsch cv. "Rubidoux")

Lisney Alessandra Bastidas Parrado, Gloria Acened Puentes Montañez, Angela Lemus Cerón

145

Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra L*) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto

Features, management, uses and benefits of saúco (*Sambucus nigra L*) with an emphasis on its implementation in the tropic high silvopastoral systems

Características, gestão, usos e benefícios do sabugueiro (*Sambucus nigra L*) com ênfase na implementação de sistemas silvipastoris, no alto trópico

Beatriz Milena Grajales Atehortúa, María Magdalena Botero Galvis & Juan Fernando Ramírez Quirama

155

Modelación hidrodinámica y determinación de calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia

Hydrodynamic modeling and determination of the water quality in the river Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia

Modelagem hidrodinâmico e determinação da qualidade da água em rio Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colômbia

Angel Oswaldo Antonio Paiba & Edinson Fabian Monroy Avila

169

Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima* var. *Unapal- Mandarino*)

Evaluation of the efficiency of three soil fertilizers on the yield and quality of zapallo (*Cucurbita maxima* var. *Unapal - Mandarino*)

Avaliação da eficiência de três fertilizantes do solo sobre a produtividade e na qualidade de abóbora (*Cucurbita maxima* var. Unapal- Mandarino)

Juan Carlos Menjivar-Flores, Cristian Felipe Enciso Murillo & Harol E. Martínez Cordoba

185

Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia

Methodological proposal of prioritizing of areas for conservation of hydrographic basins. Validation in the river Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia

Proposta metodológica para a priorização de áreas para a conservação de bacias hidrográficas
Validação de rio Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colômbia

Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarria, Yorlenny Zambrano Rodríguez & Laura Ospina Hoyos

199

Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba

Socio-cultural projects as an alternative to the endogenous development of two communities of Puerto Padre, Cuba

Projetos socioculturais como uma alternativa para o desenvolvimento endógeno de duas comunidades de Puerto Padre, Cuba.

Idis Parra Batista, Ramona Altabás-Jorge & Iliria Muchuly Cabrera

215

Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia

Strategies for adapting to climate change in two localities of municipality of Junín, Cundinamarca, Colombia

Estratégias de adaptação às alterações climáticas em duas aldeias da cidade de Junín, Cundinamarca, Colômbia

Sud Sair Sierra Roncancio, Juan Guillermo Cano Muñoz & Fabián Rojas Sánchez

227

Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia

Current conditions in terms of loss of biodiversity in biological corridors of the Uniminuto Agro-ecological Farm, Villavicencio, Meta, Colombia

Condições atuais em termos de perda de biodiversidade em corredores biológicos da Fazenda Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colômbia

Guillermo González Jiménez & Nélvar Choque Ladino

239

Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia

Characterization of three indexes of cocoa harvest of the clones CCN51, ICS60 and ICS 95 in the santandereana mountain, Colombia

Caracterização dos três índices de colheita de cacau do clones CCN51, ICS60 e ICS 95 na montanha Santander, Colômbia

Lucas Fernando Quintana Fuentes, Salomón Gómez Castelblanco, Alberto García Jerez & Nubia Martínez Guerrero

253

Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia

Community action against the phenomenon of climate change, in the páramo of the Guavio region, Cundinamarca, Colombia

Acção comunitária contra o fenómeno das alterações climáticas, no páramo da região Guavio, Cundinamarca, Colômbia

Sonia Astrid Mendoza Velásquez, Juan Guillermo Cano Muñoz & Fabián Rojas Sánchez

267

Instrucciones para los Autores

281

Editorial

“Nuestros suelos están en peligro a causa de la expansión de las ciudades, la deforestación, el uso y las prácticas de manejo insostenibles de la tierra, la contaminación, el sobrepastoreo y el cambio climático. El ritmo actual de degradación de los suelos pone en peligro la capacidad para atender las necesidades de las generaciones futuras. El objetivo principal del Año Internacional de los Suelos 2015 (AIS) es sensibilizar a la opinión pública acerca de la importancia de los suelos sanos y promover una gestión sostenible de los suelos para proteger este preciado recurso natural”¹.

Inaugurado oficialmente el 5 de diciembre de 2014 con celebraciones en New York, Santiago de Chile y Bangkok, 2015 ha sido declarado como el Año Internacional de los Suelos: “suelos sanos para una vida sana”. En esta editorial de RIAA resaltamos la importancia de los suelos como fundamento de la agricultura familiar, como pilar en la prevención y/o mitigación del cambio climático y como multiplicidad viva.

La época moderna considera la producción de alimentos como un negocio y a la tierra como una mercancía denominada “bienes raíces”. El suelo es visto como “recurso natural” y los alimentos un valor de cambio, comprado y vendido impersonalmente, a través de un medio llamado “dinero”². OMAL³, el Observatorio de Multinacionales en América Latina, muestra el impacto de esta perspectiva mercantilista en las multinacionales que tienen fríos y mezquinos intereses en los suelos de América Latina. Las explotaciones minera, petrolera, gasística, de la industria química, generan destrucción de los suelos, desaparición de las fuentes de agua, e influyen también en la pérdida de los valores y del tejido social comunitario y violación sistemática y generalizada de los derechos fundamentales. La destrucción ambiental es una amenaza que recorre el continente. El deterioro de los suelos contribuye al menoscabo de la sostenibilidad y sustentabilidad de las comunidades, al afianzamiento de la injusticia social, al detrimento de la democracia. El derecho a un suelo vivo, a un suelo sano, es un derecho esencial para el despliegue y expresión de la vida, para el disfrute de la vida. En contraste con la agricultura moderna, que considera el mundo y a la naturaleza meramente como objetos de cálculo científico, las formas tradicionales de agricultura ven la tierra como dominio sagrado.

Acorde con uno de los objetivos específicos del año internacional del suelo “Educar al público sobre el papel crucial que desempeña el suelo en la seguridad alimentaria, la adaptación y la mitigación del cambio climático, los servicios ecosistémicos

1 FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2014). 2015 Año Internacional de los Suelos. Suelos sanos para una vida sana. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/271845/>

2 BOOCKHIN, M. Ecología Libertaria. Madrid: Madre Tierra, 1991. 91 p.

3 OMAL (Observatorio de multinacionales en América Latina). (2014). Curso: “Las empresas transnacionales en la crisis civilizatoria”. Recuperado de: http://omal.info/IMG/article_PDF/Curso-Las-empresas-transnacionales_a6718.pdf

esenciales, la mitigación de la pobreza y el desarrollo sostenible”, RIAA espera que algunos de los artículos publicados en el presente número (por ejemplo: “Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia”, “Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada”, “Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia”, “Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima* var. Unapal- Mandarino)”, “Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia”, y otros más estrechamente relacionados con el cambio climático: “Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia, “Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia”, “Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta Colombia”, “Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia”, y otros artículos enfocados hacia el manejo sostenible del suelo como: “Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra* L) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto”, “Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia”) contribuyan de manera decisiva en la concientización de la comunidad académica y científica, en primer lugar y luego en los agricultores, productores y público en general, acerca de la imperiosa necesidad de realizar acciones enfocadas hacia una gestión más sostenible de los suelos, con la participación de todos los actores involucrados desde los gobiernos hasta los más pequeños agricultores, con miras al logro a largo plazo de la seguridad alimentaria a nivel local, regional e internacional.

Reinaldo Giraldo Díaz

Docente Asistente

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

“Our soils are in danger because of the expansion of the cities, deforestation, use and unsustainable management practices of land, pollution, overgrazing and climate change. The current rate of soil degradation threatens the ability to meet the needs of future generations. The main objective of the international year of the soils 2015 (AIS) is to raise public awareness of the importance of healthy soils and promote sustainable management of soils to protect this precious natural resource”¹

Officially opened on December 5, 2014 with celebrations in New York, Santiago de Chile and Bangkok, 2015 has been declared as the international year of the soil: “healthy soils for a healthy life”. In this editorial of RIAA, we underline the importance of soils as a foundation for family agriculture, as a pillar in the prevention and/or mitigation of climate change and as an alive multiplicity.

Modern times see food production as a business and the land as a commodity called “real estate”. The soil is seen as a “natural resource” and food an exchange value, bought and sold impersonally, through a medium called “money”². OMAL³, the Observatory of Multinationals in Latin America, shows the impact of this mercantilist perspective on multinationals which have cold and petty interests in the soils of Latin America. Farms, mining, oil, gas, chemical industry, generate destruction of soils, disappearance of water sources, and also the loss of values and the community social fabric and the widespread and systematic violation of fundamental rights. Environmental destruction is a threat that crosses the continent. The deterioration of soils contributes to the erosion of sustainability and sustainability of communities, to the strengthening of social injustice, to the detriment of democracy. The right to a living soil, to healthy soil, is a right essential to the deployment and expression of life, for the enjoyment of life. In contrast to modern agriculture, which considers the earth and nature merely as objects of scientific calculation, traditional forms of agriculture see the Earth as a sacred domain.

One of the specific objectives of the international year of soil is “Educating the public about the crucial role played by soil in food security, adaptation and mitigation of climate change, services essential ecosystem, alleviation of poverty and sustainable

1 FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2014). 2015 Año Internacional de los Suelos. Suelos sanos para una vida sana. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/271845/>

2 BOOCKHIN, M. Ecología Libertaria. Madrid: Madre Tierra, 1991. 91 p.

3 OMAL (Observatorio de multinacionales en América Latina). (2014). Curso: “Las empresas transnacionales en la crisis civilizatoria”. Recuperado de: http://omal.info/IMG/article_PDF/Curso-Las-empresas-transnacionales_a6718.pdf

development”, RIAA expects that some of the articles published in this issue (e.g.: “Influence of the intensity of use on some physical properties in a soil of the Valle del Cauca, Colombia”, “Filter cake and ash carbon: agro-industrial wastes with potential for biological nitrogen fertilization”, “Availability of Ca₂, Mg₂ and K depending on the properties of the soil, central coffee zone of Colombia”, “Evaluation of the efficiency of three soil fertilizers on the yield and quality of zapallo (*Cucurbita maxima* var. Unapal - Mandarin)”, “Methodological proposal of prioritizing areas for conservation of watersheds. Validation in the river Caquinal, Fomeque, Cundinamarca, Colombia”, and other more closely related to climate change: “Estimation of the carbon footprint of the system of production of sugar cane (*Saccharum officinarum*) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia”, “Strategies of adaptation to climate change in two localities of municipality of Junín, Cundinamarca, Colombia”, “Current conditions in terms of loss of biodiversity in biological corridors of the agro-ecological farm Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia”, “Community action against the phenomenon of climate change, in the páramo of the region of Guavio, Cundinamarca, Colombia”, and articles focused on the sustainable management of soil: “Features, management, uses and benefits of saúco (*Sam-bucus nigra* L.) with an emphasis on its implementation in the tropics high silvopastoral systems”, “Transmission systems of Ethnobotanical knowledge of edible wild plants in Turbo, Antioquia, Colombia”) contribute decisively in the awareness of the academic and scientific community, firstly and then by farmers, producers and the public in general, about the urgent need to carry out actions focused towards more sustainable management of soils, with the participation of all stakeholders from Governments to the smaller farmers, with a view to achieving long-term food security at local, regional and international levels.

Reinaldo Giraldo Díaz
Docente Asistente

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

“Nossos solos estão em perigo por causa da expansão das cidades, o desmatamento, uso e práticas de manejo insustentável da terra, poluição, excesso de pastoreio e as mudanças climáticas. A taxa atual de degradação dos solos ameaça a capacidade para satisfazer as necessidades das gerações futuras. O principal objetivo do Ano Internacional de Solos 2015 (AIS) é sensibilizar o público sobre a importância do solo saudável e promover a gestão sustentável da terra para proteger este recurso natural precioso”¹

Abriu oficialmente em 5 de Dezembro de 2014, com celebrações em Nova York, Santiago e Bangkok, 2015 foi declarado como o Ano Internacional de Solos “solos saudáveis para uma vida saudável.” Nesta editorial de RIAA nos destacamos a importância do solo como parte fundamental da agricultura familiar, como um dos pilares na prevenção e / ou mitigação das mudanças climáticas e como multiplicidade viva.

Atualmente a produção de alimentos considera-se como um negócio e para a terra como uma mercadoria chamada “bens raízes”. O solo é considerado como “recurso natural” e os alimentos um valor de troca comprados e vendidos impessoalmente através de um meio chamado “dinheiro”². OMAL³, o Observatório de multinacionais na América Latina, revela o impacto desta perspectiva mercantilista nas multinacionais que têm interesses frios e obscuros nos solos da América Latina. As explorações mineiras, petroleiras de gás, indústria química, geram destruição do solo, perda de fontes de água, e também influenciam a perda de valores e tecido social comunitário e violação sistemática e generalizada dos direitos fundamentais. A destruição ambiental é uma ameaça presente em todo o continente. A deterioro do solo contribui na diminuição da sustentabilidade das comunidades, o fortalecimento da injustiça social, em detrimento da democracia. O direito a um solo vivo, um solo saudável é um direito essencial para a implantação e expressão de vida, de aproveitar a vida. Em contraste com a agricultura moderna, que vê o mundo e a natureza somente como objetos de análises científica, as formas tradicionais de agricultura consideram a terra como de domínio sagrado.

Conforme com um dos objectivos específicos do 2015 Ano Internacional do solo “educar as pessoas sobre a função determinante que desempenha o solo na

1 FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2014). 2015 Año Internacional de los Suelos. Suelos sanos para una vida sana. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/271845/>

2 BOOCKHIN, M. Ecología Libertaria. Madrid: Madre Tierra, 1991. 91 p.

3 OMAL (Observatorio de multinacionales en América Latina). (2014). Curso: “Las empresas transnacionales en la crisis civilizatoria” Recuperado de: http://omal.info/IMG/article_PDF/Curso-Las-empresas-transnacionales_a6718.pdf

segurança alimentar, adaptação e mitigação das alterações climáticas, os serviços ecossistêmicos essenciais, redução da pobreza e desenvolvimento sustentável “, RIAA espera que alguns dos artigos publicados nesta edição (por exemplo,” Influen- cia da intensidade do uso sobre algumas propriedades físicas em um solo de Valle del Cauca, Colômbia “,Torta de filtro e cinza de carvão: resíduos agro-industriais com potencial de fertilização biológica nitrogenada”,”Disponibilidade de Ca^{2 +}, Mg^{2 +} e K⁺ em função das propriedades do solo, zona central cafeeira da Colômbia “,Avali- ação da eficiência de três fertilizantes do solo sobre o rendimento e qualidade de abóbora (*Cucurbita maxima* var Unapal- Mandarino)”,”Proposta metodológica para priorização de áreas para a conservação de bacias hidrográficas Validação Caquinal- rio Fómeque, Cundinamarca, Colômbia “e outros mais fortemente relacionados com as mudanças climáticas: “Estimativa da pegada de carbono do sistema de produção de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) em Palmira, Valle del Cauca, Colômbia”, “Estratégias de adaptação às alterações climáticas em duas aldeias da cidade de Junin, Cundinamarca, Colômbia”, “Condições atuais em termos de perda de biodiver- sidade em corredores biológicos na Fazenda Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta Colombia ”,“Acção comunitária contra o fenómeno das alterações climáticas, no páramo da região Guavio, Cundinamarca, Colômbia” e outros artigos dirigidos a gestão sustentável da solo: “Características, gestão, usos e benefícios do sabugueiro (*Sambucus nigra L.*), com ênfase na implementação em sistemas silvipastoris alto tró- pico”, “Sistemas de transmissão de conhecimento etnobotânico de plantas silvestres comestíveis em Turbo, Antioquia, Colômbia”) contribuem decisivamente, primeiro, na consciência da comunidade académica e científica, e posteriormente nos agriculto- res, produtores e público em geral, sobre a necessidade urgente de realizar ações voltadas para uma gestão mais sustentável dos solos, com a participação de todas as partes envolvidas, desde os governos até os pequenos agricultores, visando ao longo prazo atingir a segurança alimentar a nível local, regional e internacional.

Reinaldo Giraldo Díaz

Docente Asistente

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.



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.



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.



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.



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

Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia

Estimation of the carbon footprint of the production system of sugar cane (*Saccharum officinarum*) in Palmira, Valle del Cauca, Colombia

*Estimativa da pegada de carbono do sistema de produção de cana de açúcar (*Saccharum officinarum*) em Palmira, Valle del Cauca, Colômbia*

Hernán J. Andrade¹, Milena A. Segura² & Juan Pablo Varona³

¹Ingeniero Agrónomo, Magister en Agroforestería, Doctor en Agroforestería. ²Ingeniera Forestal, Magister en Socioeconomía Ambiental. ³Biólogo.

^{1,2,3}Departamento de Producción y Sanidad Vegetal – Grupo de Investigación PROECUT. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad del Tolima. Ibagué, Colombia.

hjandrade@ut.edu.co¹, masegura@ut.edu.co², jp_varona@hotmail.com³

Resumen

El vínculo entre el cambio climático actual y la producción agrícola ha dispuesto que la huella de carbono sea usada como indicador mundial para evaluar la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos por unidad de producto. El sector azucarero en Colombia es privilegiado gracias a los climas de sus regiones, y al contrario de lo que sucede en el resto del mundo con excepción de Hawái y el norte de Perú, se puede sembrar y cosechar caña durante todos los meses del año, no obstante es un sistema productivo netamente emisor de GEI. El objetivo de este estudio fue estimar la huella de carbono producida por la caña de azúcar en el municipio de Palmira, Valle del Cauca, a partir de las emisiones de gases de efecto invernadero durante el proceso de cultivo de caña de azúcar y la molienda. El uso de combustibles fósiles, químicos y fertilizantes orgánicos y los datos de biomasa de caña de azúcar durante el cultivo se

obtuvieron a partir de estudios de campo, cuestionarios y entrevistas. Los resultados muestran que la producción de azúcar tiene una huella de carbono que emite aproximadamente 947 ± 1381 kg CO₂e/ha/ciclo. Los fertilizantes nitrogenados fueron los que más aportaron a las emisiones de GEI, en un 73% del total, en contraste con el uso de combustibles fósiles y energía, cuya contribución está en 17% y 10%, respectivamente.

Palabras clave: cambio climático, emisión, fertilizantes, gases de efecto invernadero.

Abstract

The link between the current climate change and agricultural production has allowed the carbon footprint to be used as an indicator to evaluate the amount of greenhouse effect gases (GHG) emitted per unit of product. The sugar sector in Colombia

is privileged thanks to the climates of their regions, and contrary to what happens in the rest of the world with the exception of Hawaii and North of Peru, you can sow and harvest cane during all months of the year, however, is a purely issuing production system of GHG. The objective of this study was to estimate the carbon footprint produced by sugar cane in the municipality of Palmira, Valle del Cauca, from emissions of greenhouse effect gases during the cultivation of sugar cane and grinding process. The use of organic fertilizers, chemicals and fossil fuels and data during cultivation sugar cane biomass were obtained from field studies, questionnaires and interviews. The results show that the production of sugar has a carbon footprint that emits approximately 947 ± 1381 kg CO₂e/ha/cycle. Nitrogen fertilizers were those who contributed the most to GHG emissions, 73% of the total, in contrast to the use of fossil fuels and energy, whose contribution is 17% and 10%, respectively.

Keywords: climate change, emission, fertilizers, greenhouse effect gases.

Resumo

O vínculo entre a mudança climática atual e a produção agrícola tem prescrito que o vestígio

de carbono seja usado como indicador mundial para avaliar a quantidade de gases de efeito estufa (GEI) emitidos por unidade de produto. O setor açucareiro em Colômbia é privilegiado em virtude dos climas das suas regiões e, diferentemente do que acontece com o restante do mundo, exceto com Havaí e norte de Perú, se pode plantar e colher cana durante todos os meses do ano. No entanto, é um sistema produtivo netamente emissor de GEI. O objetivo deste estudo foi estimar o vestígio de carbono produzido pela cultura da cana de açúcar e a moagem. O uso de combustíveis fósseis, químicos e fertilizantes orgânicos e os dados de biomassa da cana de açúcar durante o cultivo, foram obtidos a partir de estudos de campo, questionários e entrevistas. Os resultados mostram que a produção de açúcar tem um vestígio de carbono que emite aproximadamente 947 ± 1381 kg CO₂e/ha/ciclo. Os fertilizantes nitrogenados foram os que mais aportaram às emissões de GEI (73% do total), em contraste com o uso de combustíveis fosseis e energia, cuja contribuição está em 17% e 10%, respectivamente.

Palavras-chave: mudanças climáticas, emissão, fertilizantes, gases de efeito estufa

Introducción

A nivel mundial, las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI; CO₂, CH₄ y N₂O) se han incrementado de manera significativa desde 1750, probablemente como consecuencia de las actividades antropogénicas (IPCC, 2007, 2013). El aumento mundial de las emisiones de CO₂ se puede atribuir principalmente a la utilización de combustibles fósiles y al cambio de uso del suelo, mientras que las emisiones de CH₄ y N₂O han venido mayormente de la agricultura (Smith *et al.*, 2008). Las actividades agrícolas contribuyen con el 13,5% de las emisiones mundiales de GEI (IPPC, 2007).

Colombia, dentro de su naturaleza agrícola, está caracterizada por los monocultivos tecnificados como caña de azúcar, café, flores, algodón, plátano, banano, sorgo, maíz, arroz, palma africana, papa y Yuca (Ballesteros & Sotelo, 2013). El sector azucarero colombiano juega un papel importante en el mercado mundial, ya que se obtuvo una producción de 2,28 millones de toneladas de azúcar durante 2007, ubicando al país como el décimo tercer productor de la Organización Internacional del Azúcar (OIA) y representando el 54% del PIB agrícola (Asocaña, 1997). La producción de caña de azúcar en el país se concentra en el

valle geográfico del río Cauca con una extensión de 199.975 ha dedicadas al cultivo.

La preocupación por el cambio climático ha impulsado las investigaciones sobre el impacto ambiental de productos agroindustriales en toda su cadena de producción (Lebel & Lorek, 2008). La huella de carbono es una herramienta introducida con el objetivo de cuantificar y, posteriormente, mitigar las emisiones de GEI de los productos industriales (Wiedmann & Minx, 2007). Por lo general, la huella de carbono representa la suma de todos los GEI liberados durante el ciclo de vida o parte del ciclo de vida de un producto (Segura & Andrade, 2012).

La huella de carbono de productos o servicios se obtiene mediante la medición de las emisiones de GEI que se generan en la cadena de producción, desde la obtención de materias primas hasta el tratamiento de residuos, pasando por la manufacturación y el transporte. A través de su análisis, las organizaciones pueden reducir los niveles de contaminación mediante un cálculo estandarizado de emisiones que tienen lugar durante los procesos productivos (Asociación Española para la Calidad, 2011).

En este estudio se estimó la huella de carbono en el cultivo de caña de azúcar en el municipio de

Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Se incluye el ciclo de vida parcial del producto, considerando la emisión de GEI en la producción en las fincas. La aplicación de esta investigación ayudará al entorno regional y nacional en la toma de decisiones con conciencia ambiental sobre los sistemas utilizados para el desarrollo de su producción, la cual debe ser sostenible con el medio ambiente reduciendo emisiones GEI. Adicionalmente, se proponen alternativas de uso del suelo con las cuales se puedan mitigar los GEI en la producción de la caña de azúcar.

Materiales y métodos.

Área de estudio

El estudio se realizó en fincas de producción de caña de azúcar del corregimiento de Boyacá, municipio de Palmira, Valle del Cauca, Colombia (Figura 1). El área se ubica dentro de la región sur del Valle del Cauca, a una altitud de 1001 msnm, sobre las coordenadas 3°31'48" N y 76°81'13" O (Gobernación del Valle, 2006). La fase de campo se realizó en diez fincas cultivadoras de caña, seleccionadas al azar, las cuales son manejadas directamente por sus propietarios, con un área mínima de terreno cultivado de 1 ha, cada una.



Figura 1. Localización del área de estudio en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Estimación de la huella de carbono.

El ciclo de vida de la producción de caña de azúcar se detalla en la Figura 2. Son cuatro las etapas del ciclo de vida del azúcar, es decir, el cultivo, la producción, el procesamiento y el transporte fueron considerados en este estudio.

La huella de carbono presentada en esta investigación incluye las emisiones de GEI a partir de la preparación de materias primas y la producción de la caña de azúcar, en consonancia con la idea “de la cuna a la puerta” enfoque descrito en la norma BSI EN ISO 14040 para la producción de azúcar (BSI, 2008).

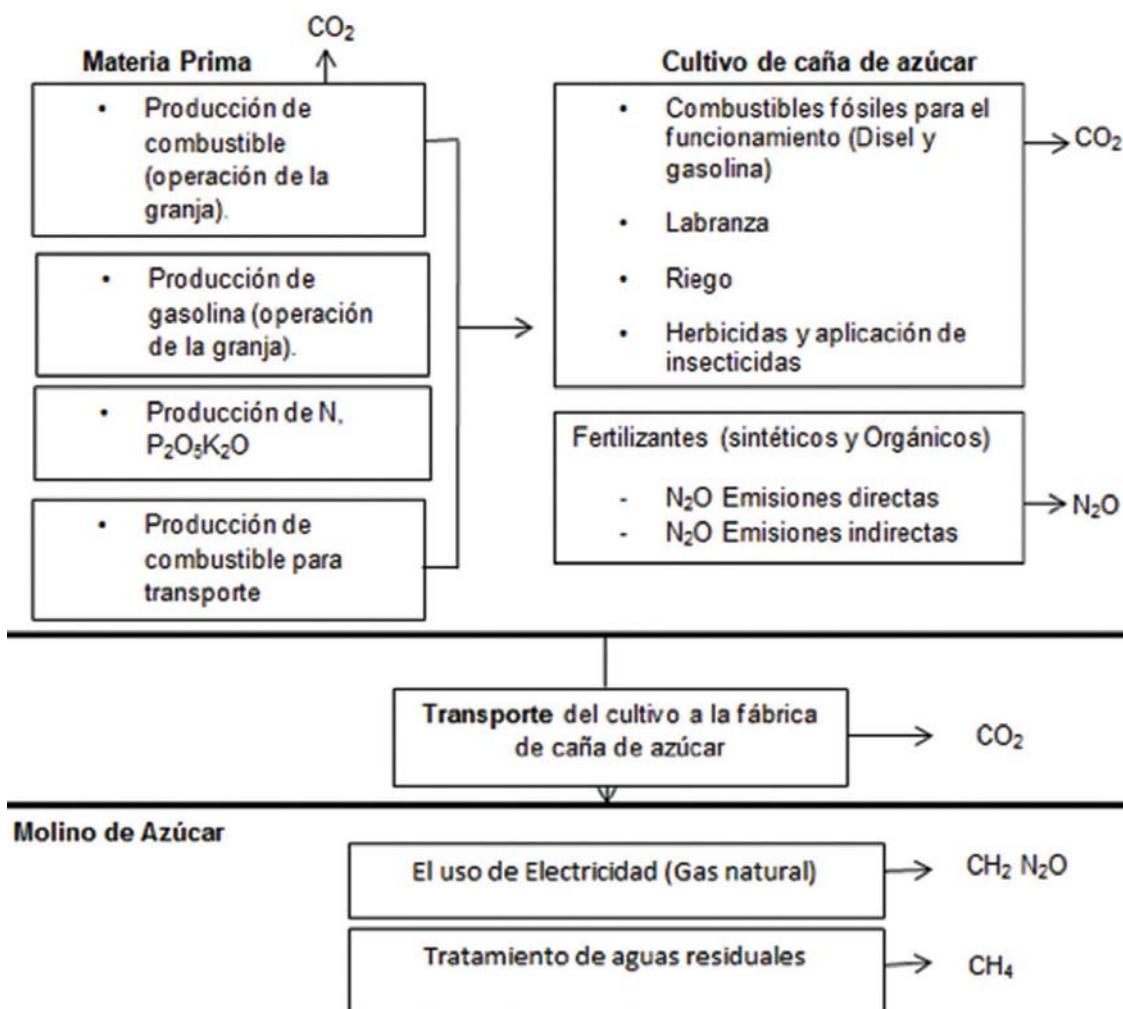


Figura 2. Límites del sistema del estudio.

Fuente: Adaptado de BSI (2008).

Los resultados de los flujos de GEI se calcularon en términos de un año de producción y por unidad de área en el caso de las fincas estudiadas. Igualmente, se estimó la huella de carbono por unidad de producto. Los GEI analizados fueron CO₂, CH₄, óxido nitroso (N₂O). Cada gas se convierte en un CO₂e, considerando el poder relativo de calentamiento de cada uno de ellos (IPCC, 2007).

El estudio calculó los insumos y energía empleados en la producción de caña de azúcar, desde el establecimiento del cultivo hasta la cosecha, y los que generan GEI. Se realizaron encuestas semiestructuradas a los agricultores dueños de predios, dueños de maquinaria, operarios y vendedores de insumos agrícolas, a los cuales se les realizó una serie de preguntas acerca de los

productos utilizados. Las encuestas incluían la dosis y número de aplicaciones de fertilizantes y otros agroquímicos, uso de energía, combustibles fósiles, labores realizadas como adecuación y preparación del terreno, mantenimiento del cultivo, corte y recolección de la caña y transporte. De la misma forma, se emplearon datos de estadísticas que cubren la mayoría de los agricultores de caña de azúcar y el área de cultivo en la región. La investigación consistió de los pasos metodológicos que se describen a continuación:

1-Fertilización nitrogenada.

En la encuesta se indagó sobre las dosis, tipo de fertilizantes y/o concentración de nitrógeno. Se estimó la cantidad de nitrógeno aplicada por hectárea y por ciclo del cultivo, lo cual se multiplicó por el factor de emisión recomendado por el IPCC: 0,01 kg N₂O/kg N (IPCC, 2007).

2-Uso de combustibles fósiles.

Las estimaciones de emisión de uso de combustibles fósiles se realizaron para las actividades de manejo y transporte de la caña de azúcar. Se preguntó acerca de la duración de la labor, tipo y cantidad de combustible utilizado en las labores de manejo del cultivo. Se consideró el tipo de combustible, número de aplicaciones, cantidad de combustible empleado por hora y duración de la labor (horas efectivas/ha) en cada lote. Las actividades adicionales realizadas durante el momento previo a la cosecha en donde se requería combustible, también fueron tomadas en cuenta para calcular el total del combustible utilizado. El factor de emisión utilizado fue de 2,83 kg CO₂e/l para diésel y 2,33 kg CO₂e/l para gasolina (IPCC, 2007).

3-Electricidad.

La emisión de GEI causada por uso de electricidad se estimó sobre la base de la cantidad utilizada en el proceso de producción de caña de azúcar. Esta cantidad fue consultada durante las entrevistas y el

consumo de electricidad reportado en los recibos del último año. El factor de emisión utilizado fue de 130 g CO₂e/kWh, el cual se recomienda para Colombia (Camargo, Arboleda & Cardona, 2013).

4-Huella de carbono.

La capacidad de calentamiento del CH₄ y N₂O fue usada para estimar las emisiones en términos de CO₂e: 21g CO₂e/g CH₄ y 310g CO₂e/g N₂O (IPCC, 2007). Luego de obtener los resultados de las emisiones de GEI por cada tipo de actividad, se sumaron para encontrar las emisiones totales por unidad de área y ciclo de cultivo. Este valor fue dividido por el rendimiento de caña de azúcar (t/ha/ciclo) para obtener la huella de carbono por unidad de caña de azúcar producida (kg CO₂e/t).

5-Opciones para la mitigación mediante sistemas de uso del suelo.

Se consideró que las emisiones netas de GEI, es decir, la huella de carbono negativa, podría ser compensada con la fijación de carbono en biomasa en algunos sistemas de uso del suelo de regiones en Colombia. Se tomaron como ejemplos: sistemas de cacaotales en monocultivo en Armero-Guayabal (4,0 t CO₂e/ha; Andrade *et al.*, 2014a), cafetales en monocultivo y con árboles en el Líbano, Tolima (1,5 y 3,7 t CO₂e/ha, respectivamente; Andrade *et al.*, 2014b), sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi; 2,5 t CO₂e/ha/año) y SSPi con árboles maderables (13,2 t CO₂e/ha/año; Arcos - en preparación). Con base en las tasas de fijación de carbono, se estimó el área necesaria de cada sistema para compensar la huella negativa de la producción de caña de azúcar.

Resultados y discusión

Los productores de caña encuestados establecen y manejan la variedad CC8592 y son considerados pequeños, ya que cultivan 1,9 ha y

producen 115,8 t/ha/año (Tabla 1). Tal como era de esperarse, la fertilización nitrogenada es una importante actividad de manejo en estos sistemas.

mas de producción; contrastando con la electricidad y el uso de combustibles fósiles, los cuales son mucho menos relevantes.

Tabla 1. Características generales y uso de insumos que generan gases de efecto invernadero en sistemas de producción de caña de azúcar en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Variable	Unidad	Media ± error estándar
Área cultivada	ha	1,9 ± 0,4
Producción	t/ha/año	115,8 ± 4,7
Fertilizantes	kg N/ha/año	297,3 ± 59,7
Electricidad	kWh/ha/año	1691,5 ± 445,6
Combustibles fósiles (diésel)	l/ha/año	44,1 ± 4,1

La contribución, en términos de emisión de GEI, del uso de herbicidas e insecticidas fue insignificante, ya que sólo contribuye con una pequeña fracción del uso de combustibles fósiles. Estos resultados coinciden totalmente con los hallazgos de Andrade *et al.* (2014a y 2014b). Se encontró que el uso de insumos para la estimación de la huella de carbono puede variar ampliamente dependiendo de las prácticas tradicionales agrícolas y del manejo del cultivo de cada agricultor, lo cual podría afectar significativamente el cálculo (Umaña, 2012).

La intensificación del uso del suelo tiene un efecto notable en la huella de carbono, Zambrano, Franquis & Infante (2004) aseguran que en cultivos convencionales hay perturbación de la tierra y del ambiente, lo cual disminuye la fertilidad y aumenta la contaminación del ambiente; pero para que el secuestro de carbono sea más efectivo se requieren prácticas de manejo adecuadas como la no aplicación de fertilizantes químicos ni la utilización de plaguicidas.

Se encontró que la producción de caña de azúcar en Palmira, Valle del Cauca, emite 1,3 ± 0,15 t CO₂e/ha/año. Como era de esperarse, esta actividad tiene un gran impacto en el cambio climático, al emitir gran cantidad de GEI. Estudios similares se han desarrollado en otras cadenas productivas, tal como el realizado por Andrade *et al.* (2014a), quienes encontraron altas emisiones de GEI en cultivos de arroz (1,0 t CO₂e/ha/ciclo). En contraste, en sistemas de producción con leñosas perennes, Segura & Andrade (2012) encontraron huellas de carbono positivas en la cadena de producción de café en Costa Rica (4,0 a 14,4 t CO₂e/ha/año). Umaña (2012) encontró que sistemas agrícolas, tales como cacao-plátano, maíz y caña de azúcar presentan una huella negativa (0,7 a 1,3 t CO₂e/ha/año), siendo 1,3 tCO₂e/ha al año el valor correspondiente a caña de azúcar. Según Andrade *et al.* (2014b), se ha demostrado que los sistemas de producción que involucran leñosas perennes, tales como los árboles maderables, tienen más posibilidades de ser amigables con el ambiente, en términos de huella de carbono.

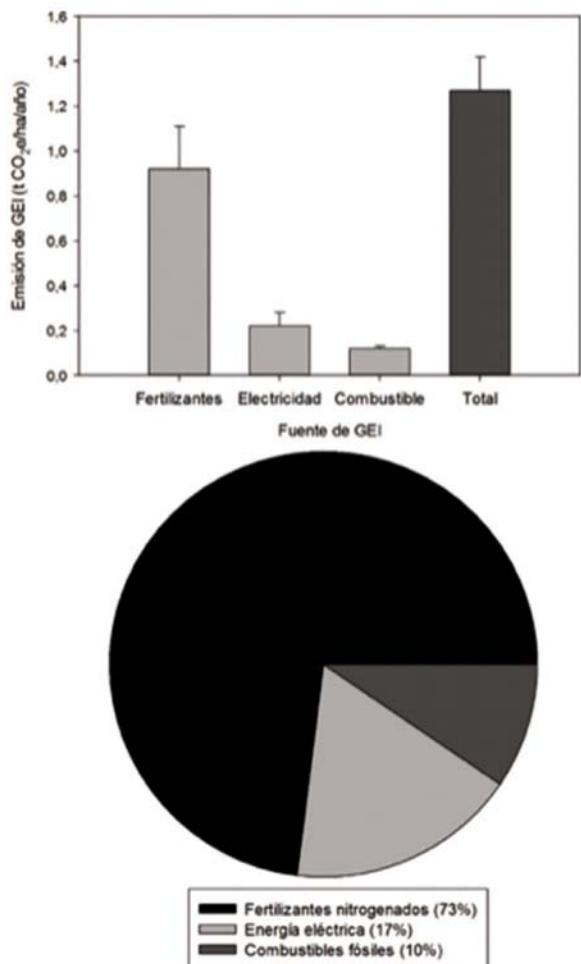


Figura 3. Componentes de la emisión de gases de efecto invernadero en la producción de caña de azúcar en Palmira, Valle, Colombia. La figura superior denota los valores absolutos, mientras que la inferior se refiere a los relativos. Las barras de error corresponden al error estándar de la media.

La aplicación de fertilizantes nitrogenados fue el rubro que más aportó a las emisiones de GEI, generando un 73% del total, en contraste con el uso de energía eléctrica y combustibles fósiles, cuya contribución estuvo entre 12 y 22%, respectivamente (Figura 3). La fertilización nitrogenada emite $0,92 \pm 0,19$ kg CO₂e/ha/año, debido a altas dosis aplicadas (156 – 234 kg N/ha/año). El uso de combustibles fósiles y energía en el proceso de producción de caña de azúcar emiten sólo 124 y 220 kg CO₂e/ha/año, respectivamente.

En Guatemala, se estimó que las fuentes principales de emisiones de GEI en el proceso de producción de caña de azúcar son combustibles fósiles en las operaciones de manejo del cultivo y transporte (43%), uso de fertilizantes nitrogenados (24%) y las quemas antes de la cosecha (17%). Según Madriñán (2002), la quema de una hectárea de caña agrega al medio de 12 a 20 t CO₂ y consume alrededor de 1,2 t O₂ en el proceso de combustión; sin embargo, durante el crecimiento de la caña de azúcar, ésta absorbe cantidades mayores de CO₂.

En Campoalegre (Huila, Colombia), se encontró que en sistemas de producción de arroz los fertilizantes nitrogenados son los responsables del 65% de la emisión de GEI. Umaña (2012) encontró valores muy similares para la contribución de la aplicación de fertilizantes nitrogenados (64%) en la emisión total de GEI en sistemas de producción de maíz en Falan, Tolima, Colombia. Según Loeb, Bonilla, Gallardo & Tafur (1987), cuando el nitrógeno se aplica en dosis mayores a las necesarias o su distribución es inapropiada, pueden ocurrir pérdidas de 40 - 80%, principalmente por volatilización (0,5 a 20%), lixiviación (1 a 70%) y desnitrificación (25 a 90%). La aplicación de grandes cantidades de nitrógeno no siempre da como resultado el aumento del rendimiento; sin embargo, están contribuyendo a la emisión de N₂O, cuyo poder de calentamiento es mucho mayor que el CO₂.

En este estudio, se encontró una huella unitaria de $10,9 \pm 1,1$ kg CO₂e/t caña de azúcar. Estos valores son muy inferiores a lo encontrado por Andrade *et al.* (2014a) en arrozales de Campoalegre, Huila, Colombia (163 kg CO₂e/t arroz); pero muy similares a los hallazgos de Bockel, Tinlot & Gentien (2010) en Madagascar (4,8 kg CO₂e/kg de arroz paddy o 7,2 kg CO₂e/kg de arroz) y Yoshikawa, Ikeda, Amano & Shimada (2010) en Japón (1,9 kg CO₂e/kg de arroz). Andrade *et al.* (2014b) encontraron huellas unitarias que duplican a lo encontrado en este estudio, pero en cafetales en monocultivo (22,6 kg CO₂e/kg de café molido).

Es importante considerar que el bagazo de la caña de azúcar tiene aplicaciones industriales en la generación de energía y se convierte en un mitigador del cambio climático (Diez, Cárdenas & Mertz, 2010), lo cual reduciría la huella de carbono de este sistema de producción.

Relación entre la emisión de GEI y el área y la producción de caña

El rendimiento promedio en las unidades productivas fue de $115,8 \pm 4,7$ t/ha/año, oscilando entre 89 y 138 t/ha/año. Se encontró una correlación positiva entre la producción y la emisión de GEI ($r = 0,93$; $p < 0,01$). Por otro lado, la emisión de GEI se correlacionó negativamente con el área del

sistema de producción ($r = -0,52$; $p = 0,12$), es decir, la huella de carbono se reduce a medida que se incrementa el área de los lotes. Se observa en este caso, un fenómeno dependiente de la escala.

Opciones para la mitigación mediante sistemas de producción agropecuario y forestal.

Tal como se detalló anteriormente, los sistemas de producción de caña de azúcar resultaron emisores netos de GEI, debido a su huella de carbono negativa (1,3 t CO₂e/ha/año). En la búsqueda de la neutralidad de carbono en esta actividad productiva, se deberían reducir estas emisiones y/o compensarlas en al menos la misma magnitud (Segura & Andrade, 2012; Andrade *et al.*, 2014a; Andrade *et al.*, 2014b).

Tabla 2. Uso de sistemas de producción agropecuario y forestal para mitigar las emisiones de GEI de la producción de caña en Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Sistemas de producción	Tasa de fijación (t CO ₂ e/ha/año)	Área (ha)*
Cacaotales monocultivo	4,0	0,3
Cafetales sin árboles	1,5	0,9
Cafetales con árboles	3,7	0,4
Sistemas silvopastoriles intensivos	2,5	0,5
SSPi con árboles maderables	13,2	0,1

*Área necesaria para mitigar una emisión neta de 1,3 t CO₂e/ha/año generados en la producción de caña de azúcar.

Se encontró que para mitigar una emisión neta de 1,3 t CO₂e/ha al año producida en los arrozales estudiados, el mejor sistema de uso del suelo son los sistemas silvopastoriles intensivos con árboles maderables, ya que sólo se requeriría 0,1 ha. En contraste, se necesitarían entre 0,3 y 0,9 ha en caso de emplear cafetales con y sin árboles, cacaotales en monocultivo y sistemas silvopastoriles intensivos (Tabla 2).

Conclusiones

La huella de carbono para el cultivo de caña de azúcar fue de 1,3 t CO₂e/ha/año (10,1 kg CO₂e/t

caña), lo cual involucra el uso de fertilizantes nitrogenados, uso de energía eléctrica y combustibles fósiles. En esta huella la principal fuente de GEI fue la fertilización nitrogenada (68% del total de emisiones). A pesar de ser un cultivo emisor de GEI, los cañaduzales podrían convertirse en carbono-neutral si sus emisiones se compensan con sistemas de leñosas perennes, como cacaotales, cafetales o sistemas silvopastoriles intensivos.

Una de las estrategias para reducir la huella de carbono podría ser la intensificación de la

producción de caña de azúcar, concentrándola en fincas de mayor tamaño.

Se recomienda evaluar la huella de carbono en todos los procesos industriales de la caña de azúcar, para así tener un valor más preciso y poder replicarlos en otras regiones del país.

Literatura citada

1. Andrade, H.J., Campo, O. & Segura M.A. (2014a). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu.* 15(1) 25-31.
2. Andrade, H.J., Segura, M.A., Canal, D.S., Feria, M., Alvarado, J.J., Marín, L.M., Pachón, D. & Gómez M.J. (2014b). The carbon footprint of coffee productive chains in Tolima, Colombia. 53-66 p. M. Oelberman (Ed.). Sustainable Agroecosystems in Climate Change Mitigation. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands. 272 p.
3. Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia. (1997). *Balance azucarero colombiano*. Recuperado de: <http://www.asocana.org/>
4. Asociación Española para la calidad. (2011). Centro nacional de información de la calidad. Recuperado de: http://www.aec.es/c/document_library/get_file?uuid=bf01ec8e-7513-46e1-8d1a-46a4c6f7784b&groupId=10128.
5. Ballesteros, K. & Sotelo, K. (2013). Estimación de la huella de carbono para una hectárea cultivada con caña de azúcar desde una perspectiva orgánica (tesis pregrado). Universidad ICESI, Santiago de Cali, Colombia.
6. Bockel, L., Tinlot, M. & Gentien A. (2010). Climate mitigation potential of rice value chain: carbon balance of rice value chain - Strategic Scenarios in Madagascar towards 2020. Roma-Italia, FAO, 11 pp. Recuperado de: <http://bit.ly/1fafah8ZF>
7. British Standards Institution (2008). PAS 2050: 2008. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Services. British Standards Institution, London, UK.
8. Camargo, L.A., Arboleda, M.N. & Cardona, E. (2013). Producción de energía limpia en Colombia, la base para un crecimiento sostenible. *Boletín Virtual XM*, Compañía Expertos en Mercados, Filial de ISA, Colombia. Recuperado de: http://www.xm.com.co/BoletinXM/Documents/MDLColombia_Feb2013.pdf.
9. Diez, O.A., Cárdenas, G.J. & Mentz, L.F. (2010). Poder calorífico superior de bagazo, médula y sus mezclas, provenientes de la caña de azúcar de Tucumán, R. Argentina. *Rev. Ind. y Agríc. De Tucumán* 87 (1): 29-38.
10. Gobernación del Valle. (2006). *Información geográfica*. Recuperado de: <http://www.valledelcauca.gov.co/index.php>.
11. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Cambridge-UK and NY-USA, Cambridge University Press, 996
12. Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, p. 1535.
13. Lebel, L. & Lorek, S. (2008). Enabling sustainable production-consumption systems. *Annual Review of Environment and Resources* 33, 241e 275.
14. Loeb, A., Bonilla, C.R., Gallardo, C.A. & Tafur, H. (1987). Efectos de algunas prácticas de manejo del agua sobre las pérdidas de nitrógeno en el cultivo de arroz. *Acta Agronómica* 37(4): 40-49.
15. Madriñán, C.E. (2002). Compilación y análisis sobre contaminación Del aire producida por la quema y la requema De la caña de azúcar; *Saccharum officinarum I*, En el valle geográfica del Rio Cauca. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional De Colombia, Palmira Valle del Cauca.
16. Segura, M.A. & Andrade, H.J. (2012). Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. *Luna Azul* 36: 60-77.
17. Smith, P., Martino, D., Cai, Z.C., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., et al. (2008). Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philos. Trans. Roy. Soc. B* 363, 789e813.
18. Umaña, J.A. (2012). Huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima. (Tesis de maestría), Universidad Pontificia Javeriana, Bogotá, Colombia.
19. Wiedmann, T. & Minx, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint'. ISA UK Research Report 07-01. June 2007. Centre for Integrated Sustainability Analysis, Durham, UK.
20. Yoshikawa, N., Ikeda, T., Amano, K. & Shimada, K. (2010). Carbon Footprint estimation and data sampling method: a case study of ecologically cultivated rice produced in Japan. VII International conference on Life Cycle Assessment in the agri-food sector Bari-Italia. Recuperado de: <http://www.ritsumei.ac.jp/se/rv/amano/pdf/2010lcafoodyoshikawanaoki.pdf>
21. Zambrano, A., Franquis, F. & Infante, A. (2004). Emisión y captura de carbono en los suelos en ecosistemas forestales. *Revista Forestal*, 35, 11-20.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 19 de agosto de 2014

Aceptado: 30 de septiembre de 2014

Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia

Availability of Ca²⁺, Mg²⁺ and K depending on the properties of the soil, central coffee zone of Colombia

Disponibilidade de Ca²⁺, Mg²⁺ e K⁺ em função das propriedades do solo, zona central cafeeira da Colômbia

Luz Adriana Lince Salazar¹, Nelson Rodríguez Valencia² & Siavosh Sadeghian Khalajabadi³

¹Geóloga, Estudiante de maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente en la Universidad de Manizales, Colombia. ²Ingeniero Químico, Doctor en Hidráulica y Medio Ambiente. ³Ingeniero Agrónomo, Magíster en Ciencias Agrarias énfasis Suelos, Doctor en Ciencias Agropecuarias énfasis Fisiología Vegetal.

^{1,2,3}Centro Nacional de Investigaciones de Café- CENICAFFE. Manizales. Colombia.

¹luz.lince@cafedecolombia.com, ²Nelson.Rodriguez@cafedecolombia.com,
³Siavosh.Sadeghian@cafedecolombia.com³

Resumen

La nutrición mineral se da a partir de los elementos que se encuentran en forma disponible en la solución del suelo, la cual se abastece principalmente de la fase de cambio iónico. Con el objetivo de determinar la disponibilidad de cationes en la solución del suelo y su relación con las propiedades edáficas, se realizó una investigación con suelos provenientes de cinco unidades cartográficas de la zona cafetera central de Colombia. Por cada unidad cartográfica se seleccionó un lote cafetero, en el que se tomaron muestras de suelo a diferentes profundidades y se analizaron las características físicas, químicas y mineralógicas, incluyendo la concentración de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la solución. En las cinco unidades el catión predominante fue Ca²⁺, seguido por Mg²⁺ y K⁺, y las concentraciones de éstos para la fase de cambio y la solución, en la mayoría fueron iguales en los primeros 30 cm

de profundidad y diferentes entre unidades, de las cuales las unidades Catarina, Doscientos y Guamal, presentaron los valores más altos y Quindío y Chinchiná los más bajos, lo cual se relacionó con el material parental ya que las tres primeras provienen de rocas máficas y ultramáficas y las dos últimas de materiales de composición intermedia. Finalmente las concentraciones de Ca²⁺ en la solución se explicaron desde 36,97 % hasta 88,11 % por la fase de cambio, las de Mg²⁺ desde 32,23 % hasta 97,30 % y las de K⁺ desde 79,06 % hasta 94,68 %, mediante modelos lineales que incluyeron nutrientes del suelo y propiedades como CIC, pH y contenido de arcillas.

Palabras clave: solución del suelo, fertilidad natural del suelo, mineralogía, café, cationes, material parental.

Abstract

Plant nutrition depends on the amount of nutrients in the soil solution coming mainly from the ionic exchange phase. In order to determine the cations availability in the soil solution related to edaphic properties, a study with soils from five cartographic units of the Colombian central coffee region was carried out. Per each unit, a coffee planted plot was selected and soil samples were taken at different depths to measure physical, chemical and mineralogical properties, including the Ca^{2+} , Mg^{2+} and K^+ concentrations in the solution. For all units, the dominant cation was Ca^{2+} followed by Mg^{2+} and K^+ . Their concentrations in the exchange phase and soil solution were similar in the surface 30cm but different among soil units. Catarina, 200, and Guamal units exhibited the highest values while Quindío and Chinchiná the lowest ones, which was related to the parent material since the first three soils are derived from mafic and ultramafic rocks and the other two from intermediate composite materials. Finally the concentrations of Ca^{2+} in the soil solution were explained in 36.97% to 88.11% by the exchange phase, the Mg^{2+} and K^+ concentrations were explained in 32.23% to 97.30% and in 79.06% to 94.68% respectively, by linear models that included soil nutrients and other properties such as CEC, pH and clay content.

Keywords: soil solution, natural fertility of soil, parent material, mineralogy, coffee, cations, parent material.

Resumo

A nutrição mineral ocorre a partir dos elementos que se encontram de forma disponível na solução do solo, a qual se abastece principalmente da fase de troca iônica. Com o objetivo de determinar a disponibilidade de cátions na solução do solo e a sua relação com as propriedades edáficas, realizou-se uma pesquisa com solos provenientes de cinco unidades cartográficas da zona cafeteira central da Colômbia. Por cada unidade cartográfica se selecionou uma área cafeteira, sendo que amostras de solo, a diferentes profundidades, foram tomadas para analisar as características físicas, químicas e mineralógicas, incluindo a concentração de Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+ na solução. Nas cinco unidades o cátion predominante foi Ca^{2+} , seguido por Mg^{2+} e K^+ ; as concentrações destes para a fase de troca e solução foram, em sua maioria, iguais nos primeiros 30 cm de profundidade e diferentes entre unidades, sendo que as unidades Catarina, Doscientos e Guamal, apresentaram os valores mais altos, enquanto que Quindío e Chinchiná os valores mais baixos. Isto se relacionou com o material vegetal, uma vez que as três primeiras provêm de rochas maficas e ultramáficas e, as duas últimas, de materiais de composição intermédia. Finalmente, as concentrações de Ca^{2+} na solução foram explicadas desde 36,97% até 88,11% pela fase de troca, as de Mg^{2+} desde 32,33% até 97,30% e as de K^+ desde 76,06% até 94,68%, mediante modelos lineares que incluíram nutrientes do solo e propriedades como CTC, pH e conteúdo de argilas.

Palavras-chave: solução do solo, fertilidade natural do solo, mineralogia, café, cátions, material parental

Introducción

La nutrición mineral se da a partir de los elementos que se encuentran en forma disponible en la solución del suelo, la cual se abastece principalmente de la fase de intercambio iónico que puede pasar en corto tiempo a la solución durante las diferentes etapas del cultivo (Sadeghian, 2014). En la solución del suelo se encuentran los nutrientes

en forma iónica, siendo predominantes Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ (Lindsay, 1979). Estos cationes cumplen roles fundamentales en la planta; los dos primeros son constituyentes de órganos estructurales y participan en funciones catalizadoras, el tercero interviene en la osmo-regulación y actividad enzimática (Maathuis, 2009).

Las plantas toman los nutrientes de la solución del suelo mediante diferentes mecanismos los cuales dependen de factores fisiológicos, atmosféricos y edáficos. Con respecto a estos últimos, tiene importancia el contenido del agua en el suelo y la concentración del nutriente en la solución (Smethurst, 2000), los cuales están relacionados con propiedades como densidad aparente (Wilson *et al.*, 2013; Safadoust *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2014), porosidad total (Tormena *et al.*, 1999), contenido de arcillas (Emamgolizadeh, 2015; Safadoust *et al.*, 2014; Leao *et al.*, 2006), pH (Emamgolizadeh, 2015) y contenido de materia orgánica (Emamgolizadeh, 2015), además de meteorización del material parental (Kim y Kim, 2015; Anda *et al.*, 2015).

Para la región cafetera colombiana se cuenta con estudios de los nutrientes en la solución del suelo, enfocados a la respuesta de aplicación de fertilizantes (Henao, 1995; Henao y Delvaux, 2000; Hincapié & Henao, 2008), relación con otras propiedades del suelo (Arias *et al.*, 2009; Sadeghian & Zapata, 2012) y su influencia en la nutrición del café (Henao & Hernández, 2002; Sadeghian, 2010; Sadeghian, 2012).

Para el cultivo del café, los estudios relacionados con la disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ son relevantes, dada la cantidad removida de estos macronutrientes por la cosecha: 36,9 kg de potasio, 4,3 kg de calcio y 2,3 kg de magnesio, por 1000 kg de café almendra (Sadeghian *et al.*, 2006).

Debido a que los antecedentes son pocos para establecer la relación entre la disponibilidad de cationes y la fase de cambio iónico, se realizó una investigación cuyo objetivo fue determinar la disponibilidad de K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ en la solución del suelo en función de las características de la fase de cambio iónico.

Materiales y métodos

Se emplearon suelos de cinco unidades cartográficas de la zona cafetera central de Colombia

(Tabla 1). Por cada unidad se seleccionó una plantación de café variedad Castillo®, a libre exposición solar en la etapa productiva.

En cada sitio se tomaron tres tipos de muestra y se procuró que la última fertilización se hubiera realizado seis meses antes del muestreo; estos fueron: i) muestras disturbadas, tomadas con palín en cuatro puntos dentro del lote a: 0-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm y 20-30 cm, de profundidad; ii) muestras sin disturbar, tomadas con un cilindro de acero de 25 cm³ de capacidad, en cuatro puntos dentro del lote a las profundidades mencionadas; iii) muestras disturbadas, conformadas a partir de cuatro submuestras, tomadas con palín en cuatro puntos dentro del lote en las mismas profundidades anotadas.

Se evaluaron las siguientes propiedades para las muestras tipo i: pH (potenciométrico, relación suelo-agua 1:1), Capacidad de Intercambio Catiónico-CIC (acetato de amonio 1 N pH 7,0, valoración por colorimetría Nessler), Carbono Orgánico-CO (Walkley-Black), K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ intercambiable (acetato de amonio 1 N pH 7,0, valoración por espectrofotometría de absorción atómica-EAA), P (Bray II), Fe, Mn, Zn, Cu (EDTA y EAA), B (agua caliente colorimétrica con azometina-H), S (monofosfato de calcio, valoración turbidimétrica), Al (KCl IM-EAA), Textura (pipeta), Retención de humedad (ollas de presión a 33, 100 y 1500 kPa), Densidad real (picnómetro); además se determinó la concentración de los cationes en la solución del suelo, mediante el método de la centrifugada (7000 rpm). Con las muestras tipo ii se evaluó: Densidad aparente (cilindro de Coile), y con las muestras tipo iii: Mineralogía de la fracción arena (análisis óptico) y arcilla (difracción de rayos X).

Para la extracción de la solución se envasaron 250 g de suelo (previamente secado al aire) en recipientes plásticos de 80 cm³ con orificios en la parte inferior; se saturó por capilaridad con agua grado analítico durante 48 h, se dejó drenar por 15 min y se aplicó nuevamente agua en exceso (24 mL), y se drenó por 3 h. Posteriormente, las

muestras se sometieron a dos ciclos de centrifugado, el primero a 2400 rpm durante 20 min, para retirar el agua de fácil drenaje (agua por encima de la capacidad de campo) y el segundo a 7.000 rpm durante 20 min para extraer el agua en equilibrio. Inmediatamente, el agua de equilibrio se transvasó a tubos falcón de 50 mL, y se cuantificó conductividad eléctrica (conductimétrico) y pH (potenciométrico). Para la evaluación de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ , la muestra contenida en los tubos falcón se dejó en reposo por 24 h, se filtró con un papel de tamaño de poro de 8 μm y posteriormente se cuantificó por el método de EAA.

La variación de las características en profundidades y entre unidades, se determinó mediante análisis de varianza al 5% con el software SAS versión 9.4, en los casos en los cuales se presentó variación se realizó la prueba de Duncan al 5%. Para establecer la relación entre la concentración de los cationes en la solución y las características de la fase sólida, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple con una confianza del 95% y se corroboró la significancia de los parámetros.

Tabla 1. Unidades de suelo de la zona cafetera de Colombia seleccionadas en la investigación.

Característica	Unidad cartográfica				
	Catarina	Chinchiná	Doscientos	Guamal	Quindío
Ubicación del muestreo					
Departamento	Risaralda	Risaralda	Risaralda	Risaralda	Quindío
Municipio	Santuario	Pereira	Marsella	Quinchía	Buenavista
Vereda	La María	El Retiro	La Linda	Los Medios	Paraguay
Material parental	Esquisto talco-so biotítico	Ceniza volcánica	Basalto hornblén-dico biotítico	Arenisca olivínica	Ceniza volcánica
Taxonomía	Typic Eutrudepts	Typic Hapludands	Typic Eutrudepts	Typic Eutrudepts	Typic Melanudands

Resultados y discusión

En la Tabla 2 se presentan las características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos analizados. Las concentraciones de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ en la mayoría de los casos, y para ambas fases, no presentaron diferencia estadística en los primeros 30 cm del perfil; salvo algunas excepciones, principalmente en los primeros 5 cm de profundidad (Tablas 3 y 4). Según Smethurst (2000) una mayor concentración de nutrientes en la parte superior de la rizósfera puede deberse a la actividad de ácidos orgánicos, enzima fosfatasa y/o quelantes.

En la solución del suelo, las concentraciones de Ca^{2+} y Mg^{2+} en la unidad Guamal, Mg^{2+} en la

unidad Doscientos y los tres cationes en la unidad Catarina tuvieron coeficientes de variación medios ($>12 \% \leq 60 \%$); y los tres cationes en las unidades Chinchiná y Quindío, Ca^{2+} y K^+ en la unidad Doscientos y K^+ en la unidad Guamal presentaron coeficientes de variación altos ($> 60 \%$). Para la fase de cambio, las concentraciones de K^+ en la unidad Chinchiná, y los tres cationes en las unidades Catarina, Guamal y Quindío presentaron coeficientes de variación medios; y los tres cationes en la unidad Doscientos, y Ca^{2+} y Mg^{2+} en la unidad Chinchiná presentaron coeficientes de variación altos. Estos coeficientes de variación son similares a los reportados por Sadeghian & Zapata (2012), Henao & Hernández (2002) y Lince & Sadeghian (2012) para suelos de la zona cafetera

colombiana; donde las dos primeras referencias reportan datos tanto para la fase de cambio como para la solución, y son atribuidos en gran parte a la naturaleza de los materiales y al manejo agro-nómico de los lotes (Cambardella, 1994; Henao & Hernández, 2002; Sadeghian, 2010; Safadoust *et al.*, 2014). Lo anterior ratifica la importancia de contemplar las fuentes de variación naturales y antrópicas del suelo, como factor determinante del diseño de muestreo.

En las cinco unidades de suelos, en ambas fases, el catión predominante fue Ca²⁺, seguido por Mg²⁺ y K⁺, lo cual concuerda con lo presentado por varios autores (Anda *et al.*, 2015; Henao & Hernández, 2002; Sadeghian & Zapata, 2012). La condición de selectividad entre los cationes es explicada por la abundancia de los materiales inorgánicos en el suelo, por la valencia del ion y por el tamaño del radio de hidratación del ion (Sparks, 2003); para el caso de los cationes de interés, la menor concentración en K⁺ se puede relacionar con una menor retención por los coloides debido a su monovalencia, seguido por el Mg²⁺, que a pesar de ser divalente presenta un radio de hidratación mayor y por tanto es retenido con menos fuerza que el Ca²⁺; este último, por tener menor radio de hidratación es retenido con mayor fuerza por los coloides del suelo y es menos complejado, lixiviado y/o precipitado, quedando en mayor concentración para las plantas en comparación con los otros dos cationes.

Las concentraciones de los cationes objeto de estudio fueron estadísticamente diferentes entre unidades. En la solución del suelo las mayores concentraciones de K⁺ se presentaron en la unidad Catarina (0,33 mmol.L⁻¹), las de Ca²⁺ y Mg²⁺ en la unidad Guamal (0,58 mmol.L⁻¹; 0,51 mmol.L⁻¹, respectivamente); y las menores concentraciones para los tres cationes en la unidad Chinchiná (Ca²⁺ = 0,18 mmol.L⁻¹; Mg²⁺ = 0,09 mmol.L⁻¹; y K⁺ = 0,05 mmol.L⁻¹) (Figura 1). Para la fase de cambio los mayores valores de K⁺ se registraron en la unidad Doscientos (0,60 cmol_c.kg⁻¹), los de Ca²⁺ y Mg²⁺ en la unidad Guamal (14,00 cmol_c.kg⁻¹; 7,31

cmol_c.kg⁻¹, respectivamente); y al igual que en la solución del suelo, los valores menores para los tres cationes se reportaron en la unidad Chinchiná (Ca²⁺ = 1,08 cmol_c.kg⁻¹; Mg²⁺ = 0,26 cmol_c.kg⁻¹; K⁺ = 0,13 cmol_c.kg⁻¹) (Figura 2). Los resultados encontrados concuerdan con Henao (1995) quien reportó para los cationes objeto de estudio mayor contenido en la unidad Doscientos en comparación con la unidad Chinchiná. La menor disponibilidad de bases en la unidad Quindío puede estar relacionada con el porcentaje de partículas tamaño arena (50,99 %) las cuales según Melo, *et al.* (2009) facilitan el lixiviado y disminuyen la capacidad de intercambiar cationes; sin embargo esta relación no se da con la unidad Chinchiná, la cual presenta las menores concentraciones de bases y un porcentaje de arenas menor que el de otras tres unidades (18,56 %).

Se encontró relación lineal entre las concentraciones de los cationes de interés y la composición del material parental de los suelos. Las unidades provenientes de materiales de composición ultramáfica (Guamal) y máfica (Catarina y Doscientos) exhibieron los mayores contenidos de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺, mientras que los provenientes de materiales intermedios (Chinchiná y Quindío) presentaron los menores contenidos. Lo anterior concuerda con Anda *et al.* (2012) en la que hacen referencia a una relación directa entre la cantidad de minerales máficos meteorizados y la disponibilidad de bases en el suelo y se justifica en que los materiales máficos tienen mayores contenidos de piroxenos, anfíboles y plagioclásas, los cuales para Melo *et al.* (2009) son la mayor fuente primaria de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en las reservas del suelo.

Dado lo anterior, las unidades Guamal, Doscientos y Catarina poseen una fertilidad potencial mayor que Chinchiná y Quindío, sin embargo, las cinco son de fertilidad potencial alta, debido a que poseen una reserva de minerales de fácil meteorización, los cuales al degradarse aportan elementos básicos para el crecimiento vegetal, además de formar minerales de arcillas (Tabla 2).

Tabla 2. Características físicas, químicas y mineralógicas de los suelos analizados.

Característica	Unidad cartográfica				
	Catarina	Chinchiná	Doscientos	Guamal	Quindío
Características químicas*					
pH	5,27	4,81	4,84	5,61	4,96
CO, %	2,82	5,43	2,60	2,3	3,6
Ca ²⁺ , cmolc.kg ⁻¹	5,27	1,08	7,06	14,00	2,05
Mg ²⁺ , cmolc.kg ⁻¹	1,56	0,22	3,33	7,13	0,32
K ⁺ , cmolc.kg ⁻¹	0,44	0,13	0,60	0,26	0,23
Al ³⁺ , cmolc.kg ⁻¹	0,23	1,26	1,39	0,20	0,88
P, mg.kg ⁻¹	7,69	6,88	4,13	3,19	44,94
S, mg.kg ⁻¹	8,81	16,88	21,54	8,21	11,73
Mn, mg.kg ⁻¹	56,63	33,63	73,13	155,06	27,50
Cu, mg.kg ⁻¹	4,01	1,89	5,88	10,45	3,71
Fe, mg.kg ⁻¹	347,13	194,13	229,88	219,44	159,94
Zn, mg.kg ⁻¹	4,03	5,06	2,32	3,24	3,41
B, mg.kg ⁻¹	0,44	0,26	0,32	0,37	0,53
CIC, cmolc.kg ⁻¹	17,19	26,00	22,81	21,63	16,13
CICE, cmolc.kg ⁻¹	7,50	2,68	12,40	21,60	3,48
Características físicas*					
Arena, %	22,24	18,56	24,83	18,02	50,99
Limo, %	34,69	56,80	36,36	43,21	27,50
Arcilla, %	42,85	24,64	38,81	38,77	21,51
Densidad aparente, g.cm ⁻³	1,19	0,72	0,95	1,10	0,96
Densidad real, g.cm ⁻³	2,63	2,65	2,59	2,65	2,61
Mineralogía de arenas**					
Mineral dominante	Fel, Anf	Fel, Anf,	Fel, Anf	Fel, Anf	Fel, Anf
Mineral subdominante	Prx	Prx	Prx	Prx	Qz
Mineralogía de arcillas**					
Mineral dominante	Mnc,	Mnc	Mnc	Mnc	Mnc
Mineral subdominante	KK, Qz, Cri, Esm, Ver/Mon	Ver/Mon	KK, Ver/Mon, Cri, Hal	KK	Ver/Mon

* Datos correspondientes al promedio de 16 muestras tomadas de 0 a 30 cm de profundidad en cuatro puntos del lote.

** Datos correspondientes a la moda de 4 muestras dentro del lote tomadas de 0 a 30 cm de profundidad.

Fel = feldespato; Anf = anfíbol; Prx = piroxeno; Qz = cuarzo; Mnc = material no cristalino (vidrio volcánico, carbonatos, sulfatos y fosfatos), KK = caolinita; Cri = crisotilo; Esm = esmectita; Ver/Mon: vermiculita y/o montmorillonita; Hal = Haloisita.

Tabla 3. Concentración de las bases intercambiables en la fase de cambio, por profundidades para las unidades cartográficas.

Profundidad	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺	
	Promedio (cmolc.kg ⁻¹)	CV (%)	Promedio (cmolc.kg ⁻¹)	CV (%)	Promedio (cmolc.kg ⁻¹)	CV (%)
Unidad Catarina (n = 4)						
0-5	6,017	a	23,23	2,048	a	24,90
5-10	4,933	a	11,54	1,457	b	16,68
10-20	4,855	a	19,79	1,355	b	20,33
20-30	5,278	a	17,16	1,370	b	25,24
Unidad Chinchiná (n = 4)						
0-5	1,488	a	63,50	0,393	a	64,93
5-10	0,820	a	107,99	0,183	a	81,44
10-20	0,748	a	114,86	0,148	a	72,68
20-30	1,260	a	128,67	0,138	a	98,90
Unidad Doscientos (n = 4)						
0-5	7,593	a	35,19	3,683	a	39,73
5-10	6,643	a	45,81	3,143	a	48,00
10-20	6,755	a	61,63	3,128	a	68,57
20-30	7,268	a	69,53	3,383	a	69,44
Unidad Guamal (n = 4)						
0-5	14,745	a	35,61	7,105	a	30,85
5-10	12,788	a	39,32	6,595	a	35,54
10-20	13,558	a	34,85	7,200	a	33,53
20-30	14,918	a	40,46	7,638	a	37,41
Unidad Quindío (n = 4)						
0-5	3,085	a	32,87	0,570	a	35,64
5-10	1,955	ab	33,70	0,320	b	32,78
10-20	1,690	ab	45,26	0,233	b	27,96
20-30	1,473	b	81,17	0,165	b	64,61

CV = coeficiente de variación

Letra diferente indica diferencia entre profundidades

Tabla 4. Concentración de las bases intercambiables en la solución del suelo, por profundidad para las unidades cartográficas.

Profundidad	Ca ²⁺		Mg ²⁺		K ⁺		
	Promedio (mmol.L ⁻¹)	CV (%)	Promedio (mmol.L ⁻¹)	CV (%)	Promedio (mmol.L ⁻¹)	CV (%)	
Unidad Catarina (n = 4)							
0-5	0,321	a	50,10	0,224	A	18,31	0,587
5-10	0,228	a	15,39	0,134	B	20,94	0,322
10-20	0,181	a	13,95	0,099	B	21,52	0,263
20-30	0,235	a	37,82	0,121	B	28,96	0,157
Unidad Chinchiná (n = 4)							
0-5	0,319	a	42,18	0,189	A	50,58	0,124
5-10	0,241	ab	86,06	0,107	ab	61,86	0,045
10-20	0,089	b	80,65	0,051	B	61,80	0,028
20-30	0,050	b	49,67	0,029	B	28,57	0,018
Unidad Doscientos (n = 4)							
0-5	0,783	a	19,49	0,471	A	27,89	0,415
5-10	0,357	b	82,35	0,241	A	81,97	0,185
10-20	0,361	b	45,92	0,265	A	33,53	0,170
20-30	0,328	b	69,88	0,245	A	56,07	0,160
Unidad Guamal (n = 3)							
0-5	1,018	a	29,94	0,913	a	32,32	0,145
5-10	0,616	b	28,01	0,539	b	36,57	0,093
10-20	0,351	bc	28,12	0,298	b	33,06	0,053
20-30	0,264	c	41,57	0,219	b	49,17	0,000
Unidad Quindío (n = 4)							
0-5	0,629	a	54,60	0,263	a	63,99	0,608
5-10	0,271	b	76,98	0,105	b	69,08	0,218
10-20	0,309	ab	40,91	0,109	b	38,67	0,200
20-30	0,202	b	60,16	0,074	b	55,18	0,088

CV = coeficiente de variación

Letra diferente indica diferencia entre profundidades

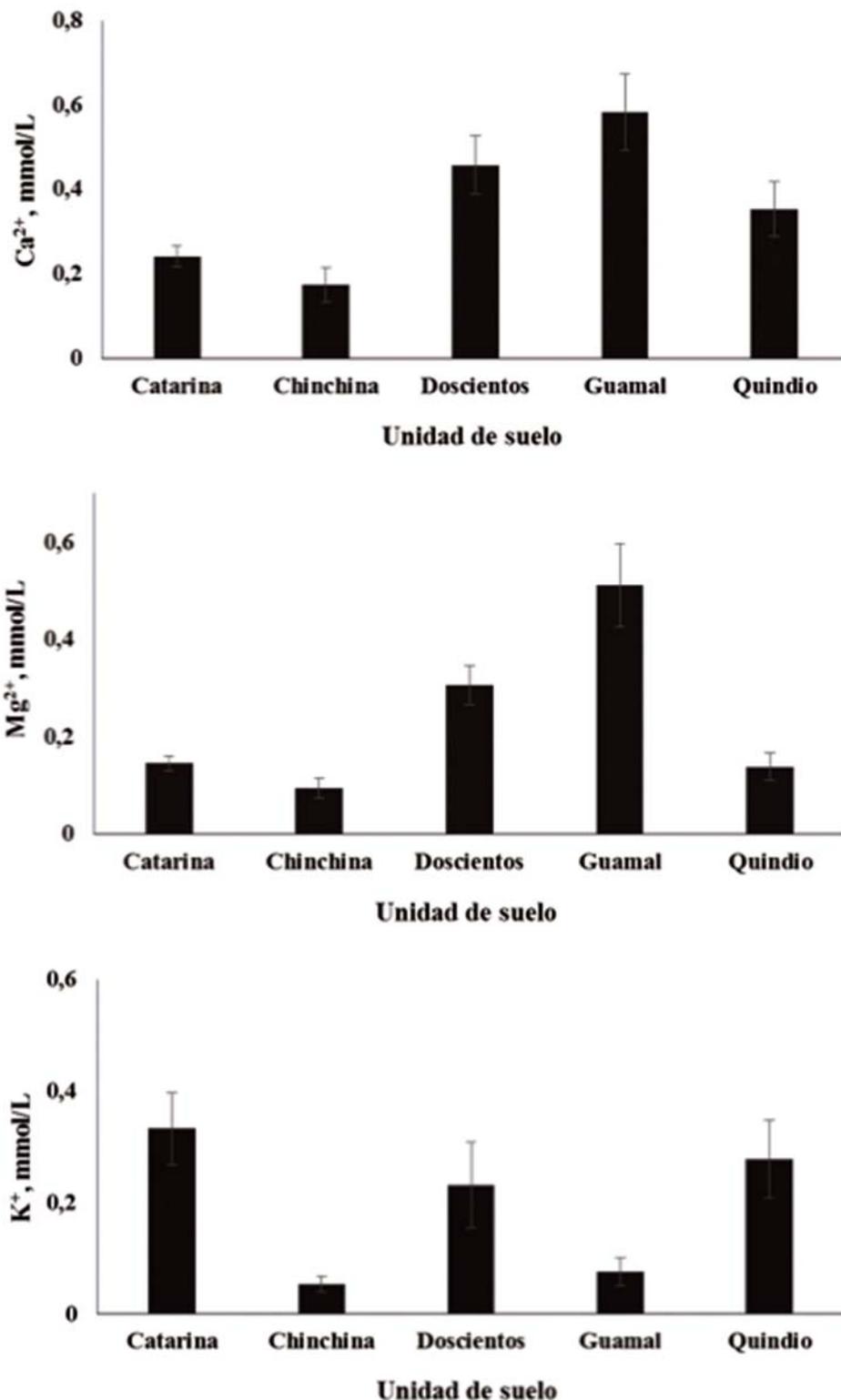


Figura 1. Valores promedio de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la solución del suelo, para cinco unidades cartográficas de suelo (n=16 para las unidades Catarina, Chinchiná, Doscientos y Quindío; n=15 para la unidad Guamal). La desviación corresponde al error estándar.

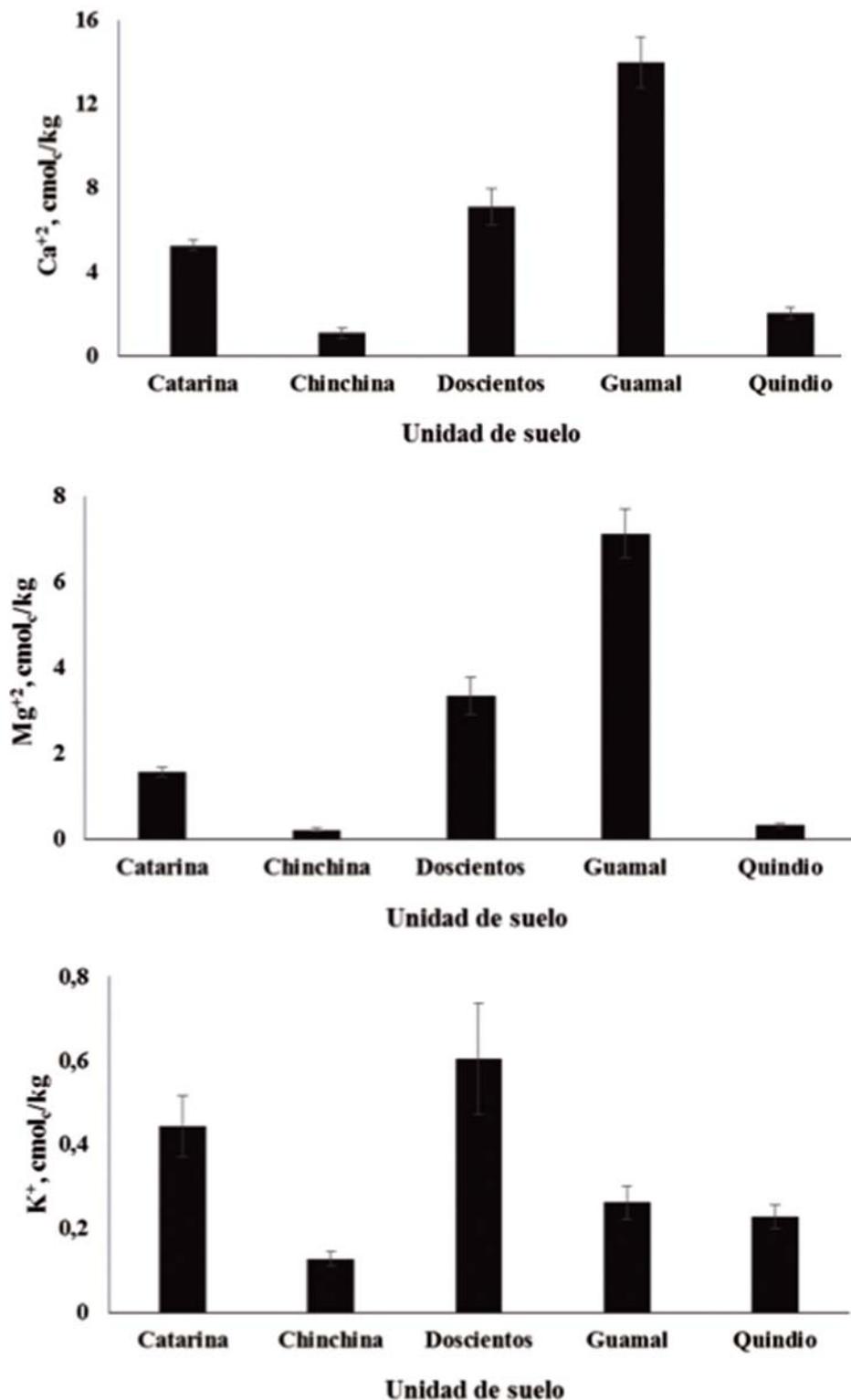


Figura 2. Valores promedio de Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^+ en la solución del suelo, para cinco unidades cartográficas ($n=16$).
La desviación corresponde al error estándar.

Las concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la solución del suelo (_{ss}), se lograron explicar por la fase de cambio (_{fc}) mediante modelos lineales generales (se incluyeron todas las unidades), y modelos individuales (para cada unidad), a excepción de la concentración de Ca²⁺ en la unidad Catarina en la cual las variables edáficas incluidas no pudieron explicar dicha concentración (Tablas 5 y 6).

El Ca²⁺_{ss} fue explicado por un modelo general con expresión directa de las variables K_{fc}, P_{fc}, Mn_{fc}, el cual difirió de los modelos individuales por un menor R² (52,56 %), a excepción de la unidad Doscientos (36,97 %); además, también difirió por no tener otras variables explicativas como CIC en Doscientos, Mg_{fc} y Ar en Quindío, S_{fc} en Guamal. En Mg²⁺_{ss} el modelo general fue explicado en relación directa por K_{fc}, Mn_{fc} y Cu_{fc} y en inversa por Fe_{fc} y Na_{fc}; el R² de éste fue mayor que el de los modelos individuales (74,24 %), a excepción de la unidad Guamal (97,30 %). Finalmente, K⁺_{ss} en el modelo general fue explicado de manera directa por pH_{fc}, K_{fc}, P_{fc} y Fe_{fc} e inversa por Mn_{fc}; en comparación con los modelos por unidad, este incluyó más variables pero el R² fue similar. Con estos modelos se corroboran las propuestas de

otros autores (Anda *et al.*, 2015; Emamgolizadeh *et al.*, 2015) al indicar que hay relación entre la disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ con micronutrientes del suelo, propiedades químicas como CIC, pH y contenido de arcillas.

La relación entre la concentración del catión en la solución (intensidad) y la concentración en la fase de cambio (cantidad) en algunos casos se explicó con la presencia del catión en los modelos, como Mg²⁺_{ss} en las unidades Catarina, Chinchiná y Quindío y K⁺_{ss} en el modelo general y en las unidades Catarina, Chinchiná, Doscientos y Guamal; respecto a este último concuerda con lo reportado por Henao y Hernández (2002) al explicar que existe una relación lineal entre el potasio intercambiable y el potasio en solución, con variaciones en la pendiente de los modelos de cada unidad. En los modelos en los cuales la concentración del catión en solución no se explicó en función del catión en la fase de cambio, como Ca²⁺_{ss} en ninguno de los modelos, Mg²⁺_{ss} en las unidades Doscientos y Guamal y K⁺_{ss} en Quindío, se puede deber a lo que Arias *et al.* (2009), Melo *et al.* (2009) y Sparks (2003) identifican como consecuencia de las interacciones entre iones, la fijación por parte de las arcillas y la influencia de la CIC y el pH.

Tabla 5. Modelos de regresión lineal para las concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la solución del suelo en función de la fase de cambio de las unidades cartográficas.

Modelo (n = 80)	R ²
Ca ²⁺ _{ss} = 0,1541 + 5,8308*K _{fc} + 0,1782***P _{fc} + 0,1437***Mn _{fc}	52,56
Mg ²⁺ _{ss} = 2,6494* + 2,7449*K _{fc} - 53,1747*Na _{fc} - 0,0125**Fe _{fc} + 0,0569***Mnfc + 0,5451***Cu _{fc}	74,24
K ⁺ _{ss} = -24,2877**+ 3,8089*pH _{fc} + 22,0402***K _{fc} + 0,1880***P _{fc} + 0,0194**Fefc - 0,0269*Mn _{fc}	80,27

ss = solución del suelo; _{fc} = fase de cambio; * = valor p<0,05≥0,01; ** = valor p<0,01≥0,001; *** = valor p<0,001

Tabla 6. Modelos de regresión lineal para las concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la solución del suelo en función de la fase de cambio, para cada unidad cartográfica

Unidad	Modelo (n = 16)	R ²
Chinchiná	Ca ²⁺ _{ss} = -4,9884 [*] + 136,0290 ^{***} K _{fc} - 0,7913 [*] P _{fc}	74,59
Doscientos	Ca ²⁺ _{ss} = -60,6472 [*] + 3,4618 [*] CIC	36,97
Guamal	Ca ²⁺ _{ss} = -20,4681 [*] + 0,1748 [*] Mn _{fc} + 1,9400 ^{**} S _{fc}	88,11
Quindío	Ca ²⁺ _{ss} = 36,2045 ^{**} + 40,8509 ^{***} Mg _{fc} - 1,6369 [*] Ar	65,02
Catarina	Mg ²⁺ _{ss} = 0,0861094 + 2,19993 ^{**} Mg _{fc}	47,74
Chinchiná	Mg ²⁺ _{ss} = 22,4601 ^{**} - 4,48932 ^{**} pH _{fc} + 6,5312 ^{**} Mg _{fc}	67,75
Doscientos	Mg ²⁺ _{ss} = 3,41542 + 1,7292 [*] Zn _{fc}	32,23
Guamal	Mg ²⁺ _{ss} = -120,0 ^{***} + 20,8989 ^{***} pH _{fc} + 0,05369 [*] Mn _{fc} - 1,59292 [*] Zn _{fc} + 0,856086 ^{**} S _{fc} + 17,2931 [*] K _{fc}	97,30
Quindío	Mg ²⁺ _{ss} = 7,65861 [*] + 11,1286 ^{***} Mg _{fc} - 0,366762 [*] Ar	62,50
Catarina	K ⁺ _{ss} = -2,0681 + 33,9563 ^{***} K _{fc}	94,68
Chinchiná	K ⁺ _{ss} = 24,1982 ^{**} - 4,4647 ^{**} pH _{fc} + 24,5280 ^{***} K _{fc} - 0,1535 ^{**} Ar	79,77
Doscientos	K ⁺ _{ss} = -3,9774 [*] + 21,5759 ^{***} K _{fc}	89,08
Guamal	K ⁺ _{ss} = -2,5889 [*] + 21,0159 ^{***} K _{fc}	79,06
Quindío	K ⁺ _{ss} = 17,6365 + 0,6972 ^{***} Mn _{fc} - 1,2054 [*] Ar	81,70

ss = solución del suelo; fc = fase de cambio; * = valor p<0,05≥0,01; ** = valor p<0,01≥0,001; *** = valor p<0,001

Conclusiones

Los resultados obtenidos permiten concluir que:

Las concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la fase de cambio y la solución del suelo no presentaron diferencia estadística en los primeros 30 cm del perfil; salvo algunas excepciones, donde la concentración fue mayor en los primeros 5 cm de profundidad, posiblemente debido a la actividad orgánica en la rizosfera.

Las concentraciones de los cationes objeto de estudio fueron estadísticamente diferentes entre unidades; de las cuales las unidades provenientes de materiales de composición ultramáfica y máfica exhibieron los mayores contenidos de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺, mientras que los provenientes de materiales

intermedios presentaron los menores contenidos. Lo anterior se explica porque los materiales máficos tienen mayores contenidos de piroxenos, anfíboles y plagioclasas, los cuales son la mayor fuente primaria de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en las reservas del suelo.

Los coeficientes de variación para las bases de interés fueron de medios a altos, lo cual es atribuido a la naturaleza de los materiales y al manejo agro-nómico de los lotes; lo cual ratifica la importancia de contemplar las fuentes de variación naturales y antrópicas del suelo, como factor determinante del diseño de muestreo.

El catión predominante, en la totalidad de las unidades estudiadas y para ambas fases, fue Ca²⁺, seguido por Mg²⁺ y K⁺. La menor concentración

en K⁺ se puede relacionar con su monovalencia, la de Mg²⁺ se atribuye a su mayor al radio de hidratación, el cual es retenido con menos fuerza que el Ca²⁺; y este último, por tener menor radio de hidratación es retenido con mayor fuerza por los coloides del suelo y es menos complejado, lixiviado y/o precipitado, quedando en mayor concentración para las plantas, en comparación con los otros dos cationes.

Las unidades Guamal, Doscientos y Catarina poseen una fertilidad potencial mayor que las unidades Chinchiná y Quindío, sin embargo, las cinco son de fertilidad potencial alta, debido a que poseen una reserva de minerales de fácil meteorización, los cuales al degradarse aportan elementos básicos para el crecimiento vegetal, además de formar minerales de arcillas.

Las concentraciones de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en la solución del suelo, se explicaron por la fase de cambio mediante modelos lineales que incluyeron nutrientes del suelo y propiedades como CIC, pH y contenido de arcillas. Las concentraciones de Ca²⁺ en la solución se explicaron desde 36,97 % hasta 88,11 % por la fase de cambio, las de Mg²⁺ desde 32,23 % hasta 97,30 % y las de K⁺ desde 79,06 % hasta 94,68 %.

Agradecimientos

Los autores presentan sus agradecimientos a la ONG Solidaridad Regional Andes, como cofinanciadora de la investigación, especialmente al Ing. Carlos Isaza; a la Universidad de Manizales – Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente, a Jhon Fredy Betancur; a los colaboradores de la disciplinas de suelos y biometría de Cenicafé: Alveiro Salamanca, Andrés Felipe Castro, Arturo Gómez, Esther Cecilia Montoya, Norbey Alzate, Rubén Medina, Vanessa Catalina Díaz y Wadi Andrey Castaño, y al Comité Departamental de Cafeteros de Risaralda, principalmente a los ingenieros Daniel Mauricio Gómez, Juan Carlos Gómez, Norberto Rincón y Sandra Milena García.

Literatura citada

1. Anda, M. & Sarwani, M. (2012). Mineralogy, chemical composition, and dissolution of fresh ash eruption: new potential source of nutrients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 76, 733–747.
2. Anda, M., Suryani, E. & Subardja, D. (2015). Strategy to reduce fertilizer application in volcanic paddy soils: Nutrient reserves approach from parent materials. *Soil and Tillage Research*, 150, 10-20.
3. Arias, E., Sadeghian, S., Mejía, B. & Morales, C.S. (2009). Lixiviación del nitrógeno en algunos suelos de la zona cafetera y su relación con la textura. *Cenicafé* 60 (3): 239-252.
4. Cambardella, C.A. (1994). Field scale variability of soil properties in central Iowa. *Soil Sci Soc AM J* 58(5): 1501–1511.
5. Chen, G., Weil, R. & Hill, R.L. (2014). Effects of compaction and cover crops on soil least limiting water range and air permeability. *Soil and Tillage Research*, 136, 61-69.
6. Emamgolizadeh, S., Bateni, S.M., Shahsavani, D., As-hrafi, T. & Ghorbani, H. (2015). Estimation of soil cation exchange capacity using Genetic Expression Programming (GEP) and Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS). *J. Hydrol.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.08.025>.
7. Henao, M.C. (1995). Evaluación de la disponibilidad del magnesio en dos suelos de la zona cafetera mediante índices relacionados con los factores cantidad e intensidad. *Revista Suelos Ecuatoriales* 25, 47-50.
8. Henao, M.C. & Delvaux, B. (2000). Lixiviación de elementos fertilizantes en algunos andisoles de la zona cafetera central colombiana. X Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo Ponencia. Colombia.
9. Henao, M.C. & Hernández, E. (2002). Disponibilidad de potasio en suelos derivados de cenizas volcánicas y su relación con la nutrición del café en la etapa vegetativa. *CENICAFFE*, 53(4), 293-305.
10. Hincapie, E. & Henao, M.C. (2008). Efecto de la fertilización del café sobre la composición de la fase líquida en suelos derivados de cenizas volcánicas. Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo, 14. 29-31. Villavicencio (Colombia): capítulos de memorias.
11. Kim, J.Y. & Kim, Y. (2015). Sorption of cesium on weathered biotite: The effects of cations in solution. *CATENA*, 135, 107-113.
12. Leao, T.P., Da Silva, A.P., Macedo, M.C.M., Imhoff, S. & Euclides, V.P.B. (2006). Least limiting water range: A potential indicator of changes in near-surface soil physical quality after the conversion of Brazilian Savanna into pasture. *Soil and Tillage Research*, 88(1), 279-285.
13. Lindsay, W.L. (1979). Chemical equilibria in soil. New York: John Wiley and Sons.
14. Lince, L.A. & Sadeghian, S. (2012). Número de muestras simples para el análisis de las propiedades del suelo. *Suelos ecuatoriales* 42(2):129-137. 2012

15. Maathuis, F.J. (2009). Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 250-258.
16. Melo, V.D.F. & Alleoni, L.R.F. (2009). Química e mineralogia do solo. Parte I, Viçosa-MG, 529.
17. Sadeghian, S. (2010). Evaluación de la fertilidad del suelo para una adecuada nutrición de los cultivos. Caso café. XII Congreso ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 23. Santo Domingo.
18. Sadeghian, S., Mejía, M.B. & Arcila, P.J. (2006). Composición elemental de frutos de café y extracción de nutrientes para la cosecha en la zona cafetera de Colombia. *CENICAFÉ* 57(4):251-261.
19. Sadeghian, S. & Zapata, R. (2012). Propiedades relacionadas con la adsorción de cationes intercambiables en algunos suelos de la zona cafetera colombiana. *CENICAFÉ* 63 (2):79-89.
20. Sadeghian, S. (2012). Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia - Facultad de Ciencias Agropecuarias – Doctorado en Ciencias Agropecuarias.
21. Sadeghian, S. (2014). Manejo integrado de nutrientes para una caficultura sostenible. *Suelos Ecuatoriales* 44(2): 74-89.
22. Safadoust, A., Feizee, P., Mahboubi, A.A., Gharabaghi, B., Mosaddeghi, M.R. & Ahrens, B. (2014). Least limiting water range as affected by soil texture and cropping system. *Agricultural Water Management*, 136, 34-41.
23. Smethurst, P.J. (2000). Soil solution and other soil analyses as indicators of nutrient supply: a review. *Forest Ecology and Management*, 138(1), 397-411.
24. Sparks, D.L. (2003). Environmental soil chemistry. San Diego. Academic Press 352 p.
25. Tormena, C.A., da Silva, A.P. & Libardi, P.L. (1999). Soil physical quality of a Brazilian Oxisol under two tillage systems using the least limiting water range approach. *Soil and Tillage Research*, 52(3), 223-232.
26. Wilson, M.G., Sasal, M.C. & Caviglia, O.P. (2013). Critical bulk density for a Mollisol and a Vertisol using least limiting water range: Effect on early wheat growth. *Geoderma*, 192, 354-361.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 6 de octubre de 2014
Aceptado: 10 de noviembre de 2014

Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia

Influence of the intensity of use on some physical properties in a soil of the Valle del Cauca, Colombia

Influência da intensidade do uso, sobre algumas propriedades físicas em um solo de Valle del Cauca, Colômbia

Alveiro Salamanca Jiménez¹ & Edgar Amézquita Collazos²

¹Ingeniero Agrónomo, Magister y Doctor en Suelos y Biogeoquímica. ²Ingeniero Agrónomo, Magister en Física y Conservación de Suelos, Doctor en Física de Suelos

¹Disciplina de Suelos, Centro Nacional de Investigaciones de Café -Cenicafé. Chinchiná, Caldas. Colombia. ²Investigador Independiente. Cali. Colombia.

¹alveiro.salamanca@cafedecolombia.com, ²e.amezquitac@gmail.com

Resumen

La intensidad de uso y manejo del suelo generalmente altera el comportamiento de sus propiedades físicas y acelera su degradación. Con el fin de medir el impacto de dicha intensidad, se llevó a cabo un muestreo en la estación experimental del CIAT-Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Se escogieron seis lotes con diferentes historiales, desde uso semestral muy intensivo hasta uso reducido con descanso por más de 10 años, y se tomaron muestras de suelo a cinco profundidades del perfil para evaluar las siguientes propiedades: conductividad hidráulica, permeabilidad al aire, porosidad total, porosidad drenable, compactabilidad, porosidad residual, materia orgánica y resistencia mecánica a la penetración. Se encontró que el uso de maquinaria y las labores de fangueo mejoraron las propiedades físicas sólo en los 15 cm superficiales, pero han causado graves problemas de compactación en las profundidades inferiores. El pisoteo del ganado también ha compactado el perfil, limitando las condiciones físicas para ser explorado por las raíces de los pastos. Los períodos de descanso han favorecido la

estabilidad estructural del suelo y con ello la calidad del mismo. Se recomienda implementar prácticas tendientes a reducir los riesgos por compactación, que ayuden a frenar la degradación y a recuperar la capacidad productiva de estos suelos.

Palabras clave: porosidad, conductividad hidráulica, labranza, compactación

Abstract

The intensity of use and management of soil usually alters the behavior of its physical properties and accelerates its degradation. In order to measure the impact of such intensity, a sampling was conducted at the experimental station of the CIAT-Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Six lots with different histories, were chosen from very intensive six-month use to use reduced with rest for more than 10 years, and soil samples were taken at five depths of profile to evaluate the following properties: hydraulic conductivity, permeability to air, total porosity, drainable porosity, compactness, residual porosity, organic matter and mechanical

resistance to penetration. It was found that the use of machinery and work of muddy improved physical properties only in 15 cm superficial, but they have caused serious problems of compaction in the lower depths. The trampling of livestock has also compressed profile, limiting the physical conditions to be explored by the grass roots. Rest periods have encouraged structural stability of soil and thus the quality of the same. It is recommended to implement practices to reduce risks due to compaction, to help curb the degradation and to restore the productive capacity of these soils

Key-words: porosity, hydraulic conductivity, tillage, compaction

Resumo

A intensidade de uso e manejo do solo geralmente altera o comportamento das suas propriedades físicas e acelera a sua degradação. A fim de medir o impacto de tal intensidade, que realizou uma estação experimental de amostragem CIAT-Palmira, Valle del Cauca, Colômbia. seis lotes

com diferentes histórias foram escolhidas do uso semi muito intenso até reduzir para descansar por mais de 10 anos de uso, e amostras de solo foram coletadas em cinco profundidades Perfil para avaliar as seguintes propriedades: condutividade hidráulica, permeabilidade ao ar, porosidade total, porosidade drenável, densidade, porosidade residual, matéria orgânica e resistência mecânica à penetração. Verificou-se que o uso de maquinaria e o trabalho de pudlagem propriedades físicas melhoradas apenas na superfície de 15 cm, mas causaram sérios compactação nas zonas mais baixas. Trampolim também compactado perfil, limitando a física para ser explorado pelas raízes das condições de pasto. Os períodos de descanso têm favorecido a estabilidade estrutural do solo e, portanto, a qualidade. Recomenda-se a implementação de práticas para reduzir os riscos de compactação, para ajudar a parar a degradação e restaurar a capacidade produtiva destes solos.

Palavras-chave: porosidade, condutividade hidráulica, preparo do solo, compactação

Introducción

Los suelos del Valle del Cauca, Colombia, se caracterizan por poseer una alta fertilidad natural que junto al relieve plano y el clima cálido han permitido en esta zona el desarrollo de un 60% de la agroindustria azucarera (Carbonell *et al.*, 2001). No obstante, según varios autores citados por Madero *et al.* (2011), el uso intensivo de estos suelos y las constantes prácticas de laboreo bajo condiciones de alta humedad ocasionan problemas de degradación física reflejados en la estabilidad estructural, la organización del espacio poroso y la densidad en la capa arable, características que pueden limitar en las plantas la utilización de agua y nutrientes del suelo, también originar cambios en el régimen de humedad, la fertilidad y la eficiencia del riego.

La susceptibilidad de estos suelos a la degradación se debe a que el incremento en la intensidad de las labores de labranza convencional, expone la materia orgánica a una mayor descomposición, rompe los agregados del suelo (Lal, 1976) y disminuye su macroporosidad (Wagger & Denton, 1989). Una reducción del carbono orgánico (CO) por debajo de los límites críticos además de acelerar la degradación de la estructura del suelo, incrementa la densidad aparente, disminuye la agregación y la capacidad de retención de humedad (Fageria, 2012) e impacta negativamente la producción de los cultivos (Fuentes *et al.*, 2009).

Una forma de evitar la reducción del CO es realizar labores de cultivo menos intensivas mediante la

rotación de cultivos (West & Post, 2002) o el uso de no-labranza; esta última práctica por ejemplo, restaura la estructura del suelos tropicales e incrementa el CO a una tasa de 0,43 Mg/ha por año en los 10 cm superficiales (Six *et al.*, 2002). Según Waggener & Denton (1989), un tráfico controlado es importante además para favorecer el estado físico general del suelo, el cual de acuerdo con IGAC (1990), comprende las condiciones de aire, agua y consistencia que influyen en el desarrollo de los cultivos.

Dados los efectos del uso y manejo intensivo sobre el suelo, se considera necesario evaluar cuantitativamente los impactos que producen las diferentes labores (Seben Junior, 2014), ya que éstos varían con el tipo de suelo y de cultivo (IGAC, 1990). Así, la presente investigación buscó evaluar los cambios físicos producidos por diferentes intensidades de uso y manejo en un suelo del Valle del Cauca, Colombia.

Materiales y métodos

El presente estudio se realizó en algunos lotes de cultivo de la sede principal del Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT, localizado en el municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, Colombia, a 3°30' latitud norte, 76°19' longitud oeste y una altitud de 965 msnm. Entre las condiciones climáticas, presenta una precipitación histórica promedio anual de 970 mm, con un pico en los meses de marzo-mayo y otro en los meses de septiembre-noviembre, una temperatura promedio de 24°C y una humedad relativa de 74%. Los suelos en su mayoría corresponden a Mollisoles.

Se seleccionaron seis lotes con historiales de más de 20 años bajo diferentes usos y manejo de los suelos como se describe la Tabla 1.

Tabla 1. Historial de uso de los lotes de muestreo en los últimos años.

Lote CIAT	Cultivo Presente	Uso del Suelo
H-3	Arroz	Nivelación, rastra y fangueo semestrales durante los últimos 28 años
O-1	Yuca	11 años bajo subsolado, nivelado y cultivado con arroz, seguidos por 10 años bajo subsolado cada dos años intercalado con pasos de rastra y establecido con una rotación Yuca, Maíz, Frijol, Sorgo.
R-4	Caña	Inicialmente potrero; luego, 15 años bajo una rotación Sorgo, Maíz, Yuca seguidos por 5 años cultivado con Caña, subsolado anual, labores de cultivo y cosecha mecanizadas.
M-3	Potrero	Suelo sin mecanización bajo pastoreo durante los últimos 40 años
Q-3	Frutales	20 años bajo frutales, guadañado frecuentemente con tractor por 10 años pero muy pocas veces los últimos 10 años.

En cada lote se escogieron al azar tres puntos de muestreo (calicatas), y se tomaron dos muestras de suelo (sin disturbar y disturbada) para cada una de las siguientes profundidades: 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 y 20-30 cm. Las muestras fueron llevadas al Laboratorio de Física de Suelos del CIAT, donde a partir de la muestra en cilindros de 5x5 cm se determinó conductividad hidráulica, permeabilidad al aire, humedad volumétrica a 75 cm de succión

y densidad aparente, y con la muestra en bolsa plástica se determinó densidad real y materia orgánica. A partir de las dos densidades se calculó la porosidad total.

En el muestreo por cada profundidad, también, se incluyó una lectura con el Torvane para medir resistencia tangencial al corte y cuatro lecturas alrededor de cada calicata con un penetrógrafo DAIKI para

medir la resistencia a la penetración. Después de llevar las muestras de los cilindros a 75 cm de succión, fueron sometidas a una presión de compactación de 33 PSI, para medir compactabilidad, porosidad residual y de nuevo su permeabilidad al aire.

Para cada variable se estimaron los promedios y desviaciones y se realizó un análisis de varianza al 5%. El análisis estadístico de los datos incluyó también una comparación de medias utilizando la prueba Tukey.

Resultados y discusión

Conductividad hidráulica y permeabilidad del aire

El comportamiento de la conductividad hidráulica a través del perfil del suelo, en todos los lotes

se presenta en la Figura 1. Se observa una menor variación en los lotes establecidos con caña y potrero, en los cuales se registraron las conductividades más bajas, asociadas con la compactación producida por el pisoteo del ganado hasta antes de sembrar la caña y durante los últimos años en el potrero. Los lotes con yuca y arroz, presentaron los valores más altos debido a la reciente preparación del suelo al momento del muestreo y se observó una disminución drástica en la conductividad a partir de los 15 cm, indicando un efecto mínimo de la maquinaria debido a posibles pisos de arado. Aunque el lote con frutales exhibió también alta variabilidad en el perfil, mostró altas conductividades asociadas con gran presencia de raíces debido a una mayor estabilidad estructural alcanzada en ausencia de labranza.

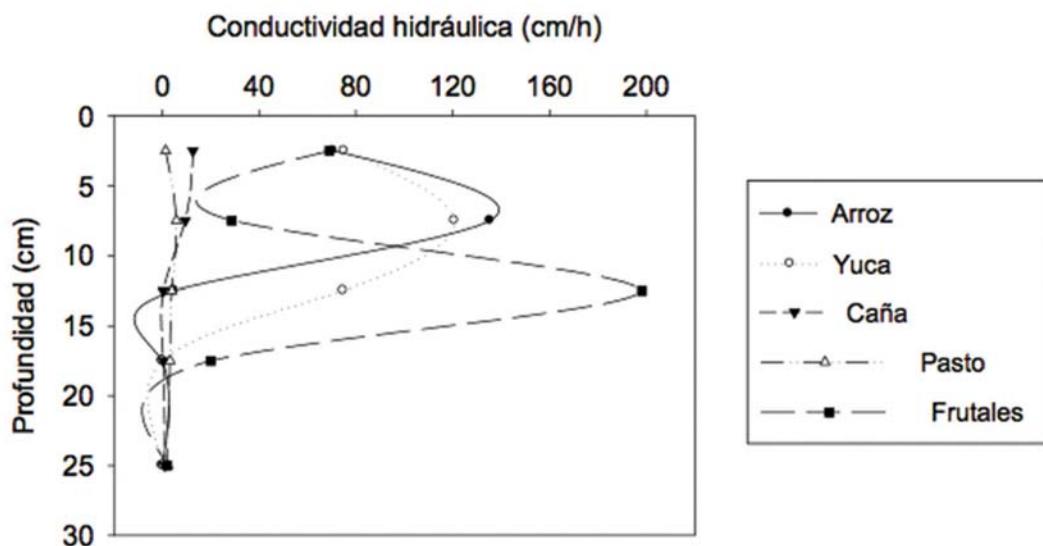


Figura 1. Comportamiento de la conductividad hidráulica en función del uso y manejo del suelo

En un estudio en Brasil, Soares *et al.* (2005) reportan que en suelos cultivados con caña de azúcar, el uso intensivo de maquinaria redujo la capacidad de infiltración superficial y el tamaño de los agregados, incrementando la relación micro/macro poros, mientras que las mayores conductividades se encontraron en sitios con estructura más estable por un alto contenido de arcillas.

Con relación a la permeabilidad del aire, los valores encontrados tanto antes como después de la compactación se presentan en la Figura 2. Similar a lo encontrado con la conductividad, las permeabilidades más bajas y una menor variabilidad se presentaron en los lotes con caña y potrero, indicando adensamiento o posible compactación en el perfil estudiado, mientras que los valores más

altos se registraron en la superficie de los lotes recién preparados como resultado de la mecanización, así como en el lote con frutales en ausencia de labranza.

La Figura 2 también muestra que la permeabilidad es una propiedad muy sensible a la compactación, principalmente en los primeros centímetros

de profundidad del perfil, reduciéndose hasta más de 20 veces en el suelo recién mecanizado del lote con yuca. En el lote con frutales se presentó la mayor reducción de la permeabilidad, como resultado de una mayor reducción de la macroporosidad, mientras que los lotes en potrero y caña mostraron las menores disminuciones, indicando un grado de alta compactación.

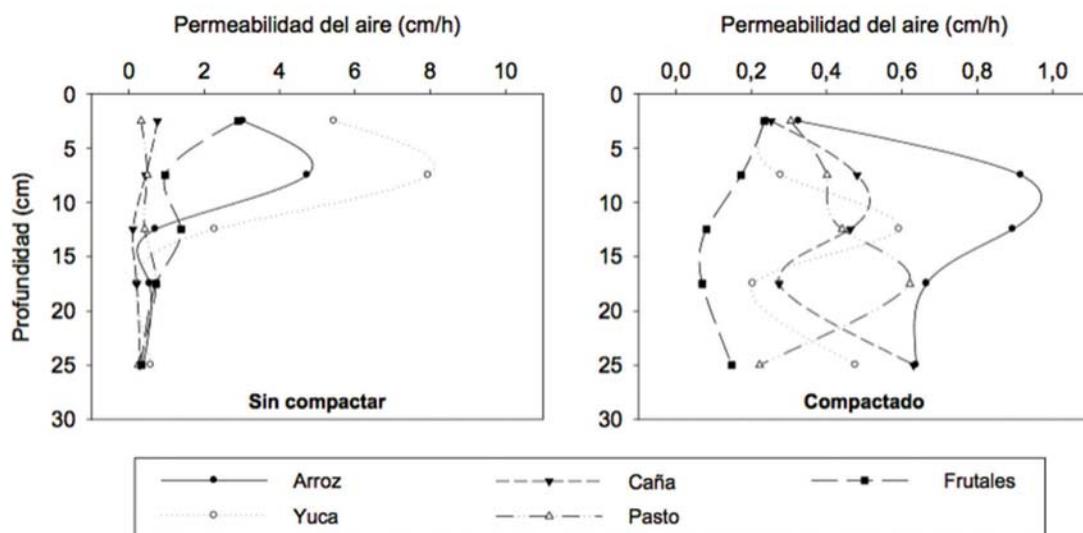


Figura 2. Comportamiento de la permeabilidad del aire (antes y después de la compactación) en función del uso y manejo del suelo

En la Tabla 2 se observa la relación entre la permeabilidad antes y después de la compactación. Los valores más altos indican un mayor efecto negativo de la compactación, y por ende una mayor susceptibilidad del suelo a la mecanización,

mientras que los valores menores de 1, indican que, por el contrario, la permeabilidad se aumentó debido a que las muestras comenzaron a contraerse dejando grietas que permitieron un mayor flujo de aire.

Tabla 2. Relación entre la permeabilidad del aire antes/después de la compactación

Prof. (cm)	Arroz	Yuca	Caña	Pasto	Frutales
0-5	9.311	22.595	3.002	1.056	12.332
5-10	5.169	28.499	0.929	1.218	5.555
10-15	0.793	3.850	0.228	0.947	17.079
15-20	0.835	1.068	0.770	1.165	10.279
20-30	0.598	1.229	0.467	1.120	2.232

Porosidad total y porosidad drenable (poros > 40 mm)

El comportamiento de las porosidades total y drenable (macroporos) se presenta en la Figura 3. Las dos propiedades exhibieron mayores valores en la superficie y disminuyeron al profundizar en el perfil de todos los lotes. Las mayores porosidades se registraron en los lotes con yuca, arroz y frutales, mientras que en los lotes con caña y pasto los menores valores indican un mayor adensamiento, especialmente a nivel subsuperficial.

Teniendo en cuenta que un valor de porosidad drenable <10% puede ser considerada limitante para la buena aireación de las raíces, se observa

que esta propiedad presentó valores restrictivos en los estratos inferiores de todos los perfiles, lo cual refleja un efecto marcado tanto de la preparación del suelo como de las raíces de las plantas, además de la flora y fauna sobre los macroporos, los cuales predominaron hacia la superficie donde también se registraron mayores contenidos de materia orgánica. En los lotes con arroz y yuca, el uso de maquinaria ha reducido en mayor proporción la macroporosidad, mientras que en el lote con frutales, los valores altos se asocian con la ganancia de estabilidad estructural en ausencia de mecanización. En el lote en potrero, donde casi todo el perfil sería limitante, se refleja de nuevo el efecto adverso que tiene el pisoteo del ganado en las propiedades físicas del suelo.

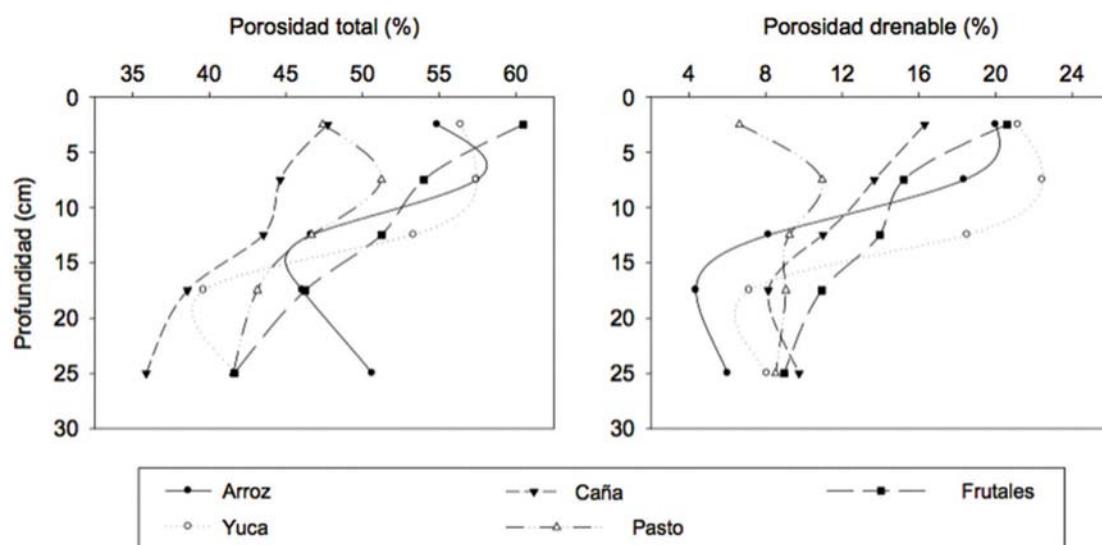


Figura 3. Comportamiento de la porosidad total y drenable del suelo en función del uso y manejo

Similarmente, Volverás & Amézquita (2009), al comparar dos suelos con y sin uso agrícola, reportan que el cambio de uso del suelo afecta negativamente su volumen aún en períodos cortos y que la porosidad total tiende a disminuir al aumentar el tiempo de uso hasta incluso 70 años de uso agrícola. En otro estudio, Lanzanova *et al.* (2010) reportan que después de 16 años de utilizar la prácticas como no labranza,

rotación de cultivos y cultivos de cobertura se incrementa la porosidad y la macroporosidad del suelo en comparación con un suelo desprotegido.

Compactabilidad y Porosidad residual

En la Figura 4 se presenta el comportamiento de la compactabilidad y de la porosidad residual.

Similar a las propiedades anteriores, los perfiles de los lotes sembrados con arroz y yuca exhibieron los menores valores de compactabilidad en la superficie como resultado de la preparación del suelo, mientras que los mismos lotes en los niveles subsuperficiales junto con los lotes establecidos con caña y potrero presentaron las mayores compactibilidades, producto del uso intensivo que ha llevado a la formación de pisos de arado. No obstante, el lote con frutales mostró menor compactación en los niveles subsuperficiales debido a la acción de las raíces.

Respecto a la porosidad residual, esta propiedad exhibió un comportamiento inverso a la compactabilidad; los valores altos que indican mayor espacio para explorar por las raíces se incrementaron en los lotes con labranza reciente, al igual que en el lote con frutales en los primeros centímetros de profundidad, indicando que la ausencia de labores culturales en el suelo tiende a recuperar la porosidad residual del suelo, mientras que el lote bajo potrero siguió mostrando el efecto adverso causado por la carga animal.

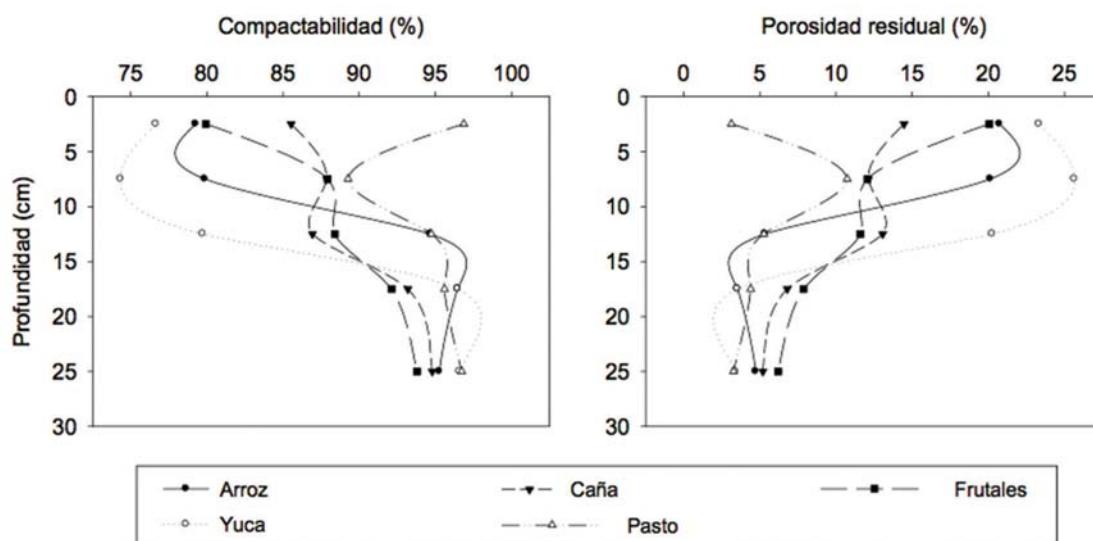


Figura 4. Comportamiento de la compactabilidad y la porosidad residual en función del uso y manejo del suelo

Materia orgánica

Como se observa en la Figura 5, los contenidos de materia orgánica para los diferentes lotes muestran una tendencia a disminuir al profundizar en todos los perfiles, sobresaliendo los lotes en pastoreo y frutales con los valores más altos, como señal de que la compactación del suelo y la poca intervención antrópica disminuyen las tasas de mineralización de la materia orgánica.

El lote con arroz evidencia que el fangueo del suelo influye en la redistribución de la materia orgánica a través del perfil y también disminuye su mineralización. Los valores bajos en el lote con caña reflejan el agotamiento de materia orgánica debido a la alta extracción del cultivo y posiblemente a la quema de residuos a la cual estos lotes fueron expuestos anteriormente.

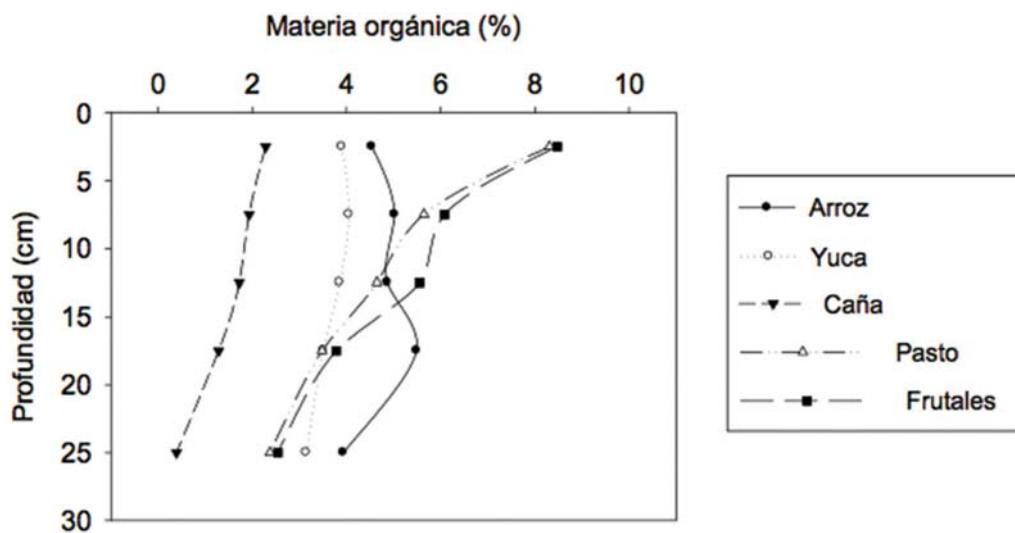


Figura 5. Comportamiento de la materia orgánica en función del uso y manejo del suelo

Resistencia del suelo al corte y a la penetración

El efecto de la reciente preparación del suelo en los lotes con yuca y arroz, con valores de resistencia tangencial al corte bajos, así como el efecto de la compactación del suelo causada por el pisoteo del ganado reflejado en valores muy altos a través de todo el perfil se presenta en la Figura 6. En los lotes con caña y frutales, a pesar de mostrar menor resistencia en la superficie, muestran una tendencia a aumentar ésta al profundizar el perfil, como en todos los lotes asociados con adensamientos o pisos de arado en los niveles subsuperficiales del suelo causados por la labranza.

La resistencia a la penetración evidencia también en los primeros centímetros de profundidad de los perfiles el efecto marcado de la reciente preparación en los lotes con arroz y yuca y del pisoteo del ganado en el potrero (Figura 6).

Similar a lo observado en el lote con frutales donde se redujo la resistencia del suelo en la superficie, Seben Junior *et al.* (2014) afirman que este efecto de la no labranza se asocia con la formación de bioporos, los cuales son requeridos para mantener la función porosa del suelo y de sus propiedades mecánicas a través del tiempo.

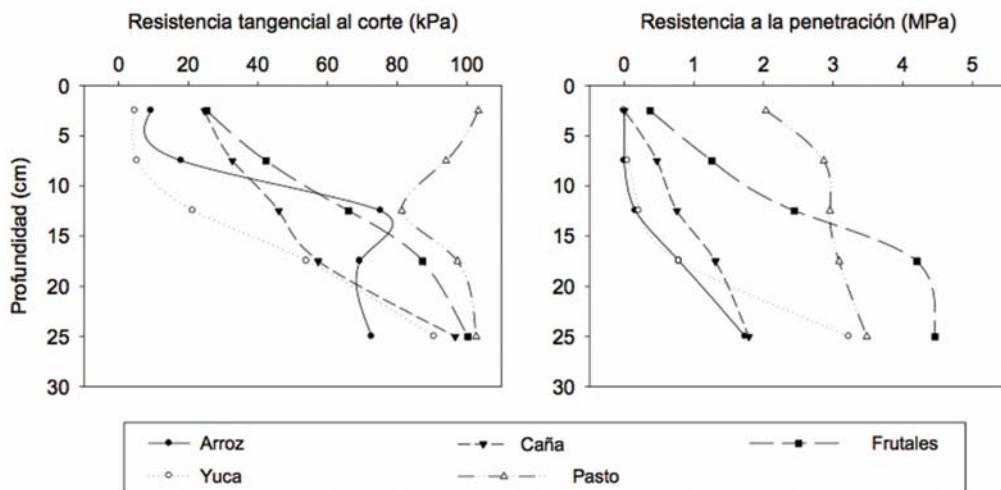


Figura 6. Comportamiento de la resistencia del suelo en función del uso y manejo

Conclusiones

La reciente preparación del suelo causa un efecto positivo en las condiciones físicas del suelo sólo en los primeros 15 centímetros de profundidad de los lotes, pero su uso continuado a través del tiempo ha causado pisos de arado o compactación a nivel subsuperficial.

Largos periodos de descanso y la ausencia de labranza en el lote con frutales ha favorecido las propiedades físicas, pero esta tasa de recuperación es mucho menor que los efectos adversos del uso intensivo del suelo y el pisoteo del ganado.

Es necesario, entonces, implementar prácticas de manejo que ayuden a disminuir la compactación del perfil y por ende la degradación del suelo, y a recuperar la capacidad productiva de los suelos tropicales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a todas las personas que colaboraron con realización de este estudio, especialmente a Arvey Álvarez y Jesús Galvis quienes ayudaron en la toma y análisis de las muestras en el laboratorio de Física de Suelos del CIAT.

Literatura citada

1. Carbonell, J., Amaya, A., Ortiz, B., Torres, J., Quintero, R. & Isaacs, C. (2001). Zonificación agroecológica para el cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca, tercera aproximación. Cali, Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña). (*Serie Técnica No 29*).
2. Fageria, N.K. (2009). Role of soil organic matter in maintaining sustainability of cropping systems. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 43:2063-2113. 2012.
3. Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1990). Propiedades físicas de los suelos. Bogotá, Subdirección Agrológica. 813 p
4. Lal, R. (1976). No-tillage effects on soil properties under different crops in Western Nigeria. *Soil Science Society of America Journal* 40:762-768.
5. Lanzanova, M.E., Eltz, F.L.F., Nicoloso, R.S., Amado, T.J.C., Reinert, D.J. & Rocha, M.R. (2010). Atributos físicos de um Argissolo em sistemas de culturas de longa duração sob semeadura direta. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34:1333-1342.
6. Madero Morales, E., Ramírez Alzate, J.A., Albán, Á., Escobar, B.Y., García, L.F. & Peña Artunduaga, M.E. (2011). Compactación de suelos cultivados con caña de azúcar en la zona sur del Valle del Cauca. Parte I. *Acta Agronómica* 60 (3): 245-252.
7. Seben Junior, G. De F., Cora, J.E. & Lal, R. (2014). The effects of land use and soil management on the physical properties of an Oxisol in Southeast Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 38(4): 1245-1255. Doi: 10.1590/S0100-06832014000400021.
8. Six, J., Feller, C., Denef, K., Ogle, S.M., Sá, J.C.M. & Albrecht, A. (2002). Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils - Effects of no-tillage. *Agronomie* 22:755-775.
9. Soares, J.L.N., Espindola, C.R. & Pereira, W.L.M. (2005). Physical properties of soils under intensive agricultural management. *Scientia Agricola* 62(2): 165-172.
10. Volverás, B. & Amézquita, E. (2009). Estabilidad estructural del suelo bajo diferentes sistemas y tiempo de uso en laderas andinas de Nariño, Colombia. *Acta Agronómica* 58(1): 35-40.
11. Waggoner, M.G. & Denton, H.P. (1989). Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Science Society of America Journal* 53(4): 1206-1210. Doi: 10.2136/sssaj1989.03615995005300040036x
12. West, T.O. & Post, W.M. (2002). Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66:1930-1946.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 1 de octubre de 2014

Aceptado: 5 de noviembre de 2014

Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte

Effect of ultraviolet radiation and the mycorrhizal colonization in pioneers trees from the eastern region of North America

Efeito da radiação ultravioleta e colonização micorrízica em árvores pioneiras do leste da América do Norte

Nilsen Lasso-Rivas

Biólogo, Magister en Ciencias-Biología, Doctor of Philosophy Major in Ecology and Evolutionary Biology

Programa de Agronomía, Universidad del Pacífico, Kilómetro 13 vía al Aeropuerto Barrio el Triunfo, Buenaventura, Colombia..

nileonard@yahoo.com

Resumen

Las plantas están expuestas a múltiples factores de estrés que causan alteraciones en su fisiología. Sin embargo, la evidencia sugiere que las relaciones mutualistas con microorganismos pueden ayudar a las plantas a superar los efectos perjudiciales de algunos factores de estrés abiótico. El objetivo de esta investigación fue analizar los efectos individuales e interactivos de los rayos ultravioleta (UV) (280-400 nm) y la simbiosis micorrízica arbuscular (MA) en el crecimiento vegetativo en plántulas de tres especies de árboles pioneros. Se cultivaron en invernadero plántulas de *Populus deltoides*, *Betula nigra* y *Salix nigra* usando un diseño factorial 2×2 , con dos condiciones de radiación UV (con y sin radiación UV) y dos tratamientos MA (inóculo MA vivo o inóculo MA previamente autoclavado). Después de tres meses, las plantas se cosecharon y se registraron crecimiento, morfología y asignación de biomasa; se evaluó porcentaje de colonización MA mediante técnica de cuadricula. Se encontró que las plántulas ex-

puestas a la radiación UV tenían menor peso seco de la raíz, diámetro del tallo, y relación raíz parte aérea (R/A), y mayor área foliar específica (AFE) y razón de área foliar (RAF) que aquellas plantas cultivadas en ausencia de radiación UV. La colonización MA no evidenció aumento en el crecimiento de las plantas. La radiación ultravioleta redujo el porcentaje de raíz colonizada por hongos MA en plántulas de *P. deltoides* y *S. nigra*. Se evidenció que niveles ambientales de radiación UV pueden ejercer un efecto indirecto sobre la micorrización MA en plántulas de árboles pioneros.

Palabras clave: micorrizas arbusculares, estrés abiótico, *Populus deltoides*, *Betula nigra*, *Salix nigra*, crecimiento vegetativo

Abstract

Plants live in environments where they are exposed to multiple stress factors that cause alterations in their normal physiology. However, the evidence su-

ggests that mutualistic relationships with microbes can help plants to overcome the detrimental effects of some abiotic stress factors. The goal of this research was to investigate the individual and interactive effects of solar ultraviolet (UV) radiation (280–400 nm) and arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis on vegetative growth in seedlings of three shade intolerant species. Seedlings of *Populus deltoides*, *Betula nigra*, and *Salix nigra* were grown in greenhouse under a 2 × 2 factorial design, with two UV radiation conditions (with and without UV radiation) and two AM treatments (with normal AM inoculum or with autoclaved inoculum). After three months, plants were harvested and growth, morphology, and allocation variables were measured, percentage of roots colonized by AM fungi was assessed using the grid line intercept technique. The results showed that seedlings exposed to UV radiation had smaller root masses, stem diameters, and root to shoot ratios; and greater specific leaf areas and leaf area ratios. Mycorrhizal colonization did not result in any increase in growth, and in one case the AM plants were smaller than the non-mycorrhizal control. Ultraviolet radiation reduced the percentage of root colonized by AM fungi of *P. deltoides* and *S. nigra*. The results demonstrate that ambient levels of UV radiation can exert an indirect effect on mycorrhizal fungi in the rhizosphere of tree seedlings.

Key-words: arbuscular mycorrhizae, abiotic stress, *Populus deltoides*, *Betula nigra*, *Salix nigra*, seedling growth, greenhouse experiment.

Resumo

As plantas estão expostas a múltiplas pressões que causam alterações na sua fisiologia. No en-

tanto, as evidências sugerem que as relações mútuas com microorganismos pode ajudar as plantas a superar os efeitos nocivos de alguns fatores de estresse abióticos. O objetivo desta pesquisa foi analisar os efeitos individuais e interativos de radiação ultravioleta (UV) (280-400 nm) e simbiose micorrízicos arbusculares (MA) sobre o crescimento vegetativo em mudas de três espécies de árvores pioneiras. Foram cultivadas em casa de vegetação, as plântulas de *Populus deltoides*, *Betula nigra* e *Salix nigra*, utilizando um delineamento experimental fatorial 2 × 2, com duas condições de radiação UV (com e sem radiação UV) e dois tratamentos MA (inóculo MA vivo ou inóculo MA previamente autoclavado). Depois de três meses, as plantas foram colhidas e registrou-se o crescimento, morfologia e alocação de biomassa. Foi avaliada, a percentagem de colonização dí MA, pela técnica de grade. Verificou-se que as plântulas expostas à radiação UV apresentaram menor peso seco da raiz, diâmetro do caule, raízes e parte aérea relação (R / A), e maior área foliar específica (SLA) e razão de área foliar (RAF), que aquelas plantas cultivadas na ausência de radiação UV. A colonização MA não mostrou nenhum aumento no crescimento das plantas. A radiação ultravioleta reduziu a porcentagem de fungos de raízes colonizadas por MA em plântulas de *P. deltoides* e *S. nigra*. Foi demonstrado que os níveis ambientais de radiação UV podem ter um efeito indireto sobre a micorrização MA em plântulas de árvores pioneiras.

Palavras-chave: fungos micorrízicos arbusculares, estresse abiótico, *Populus deltoides*, *Betula nigra*, *Salix nigra*, crescimento vegetativo

Introducción

Las plantas viven expuestas a múltiples factores de estrés que pueden alterar su fisiología normal (Alexieva et al., 2003). Es por esto que las plantas han desarrollado un conjunto de mecanismos que les permiten detectar y responder a los diferentes factores de estrés, reduciendo al mínimo sus

efectos negativos (Atkinson & Urwin, 2012). Además de los mecanismos de protección contra el estrés, las relaciones mutualistas con microorganismos de la rizosfera, como bacterias y hongos simbióticos, pueden ayudar a las plantas superar los efectos perjudiciales de algunos factores

de estrés abiótico (Grover *et al.*, 2010). Dado que es muy probable que debido al cambio climático en el futuro se dé un aumento en el número y la intensidad de eventos ambientales extremos (Lichtenthaler 1996, Alexieva *et al.*, 2001, Dukhovskis *et al.*, 2003), es importante estudiar el efecto de los factores de estrés abiótico en las interacciones simbióticas en las plantas.

La radiación ultravioleta (UV) es un factor de estrés abiótico importante y generalizado para las plantas (Singh *et al.*, 2006). El espectro electromagnético de la radiación UV se divide para fines prácticos en tres bandas de frecuencia: radiación UV-C (200-280 nm), radiación UV-B (280-315 nm) y radiación UV-A (315-400 nm). La radiación UV-C es la más energética, pero es completamente absorbida por la atmósfera superior y no llega a la superficie de la Tierra. Tanto la radiación UV-B como la radiación UV-A penetran en la troposfera, sin embargo, la mayor parte de la radiación UV-B es absorbida por el ozono estratosférico (Frederick, 1993). El estudio de los efectos de la radiación UV en los ecosistemas se vio estimulado debido a la preocupación por la disminución en la capa de ozono causada por la descarga antropogénica de los clorofluorocarbonos (CFC) y el consiguiente aumento de la radiación UV-B a nivel del suelo (Frederick, 1993). Por esa razón, la comprensión de los efectos ecofisiológicos de la radiación ultravioleta en los ecosistemas se ha centrado en la irradiancia UV-B por encima de los niveles ambientales actuales (Phoenix *et al.*, 2003). Sin embargo, la intensidad de la radiación UV que llega a la superficie de la tierra se ve afectada no sólo por la columna de ozono, sino también por otros factores como el ángulo solar, la elevación, la nubosidad, y la contaminación de la troposfera por materiales particulados (Pablo & Gwynn-Jones, 2003). Así, futuras variaciones en los niveles de radiación UV resultado de cambios en el clima pueden tener mayor impacto en los ecosistemas terrestres que los cambios debidos al agotamiento del ozono estratosférico (Ballare *et al.* 2011). Los resultados de las investigaciones sobre los efectos del aumento de la radiación UV-B en plántulas muestran

cambios en la morfología de éstas como lo son reducción de la altura, diámetro, biomasa y área foliar. Estas respuestas se pueden atribuir a: (i) cambios en el metabolismo de hormonas, específicamente auxinas, que están implicadas en diferentes procesos de desarrollo (Huang *et al.*, 1997; Jansen, 2002), (ii) cambio en la asignación de carbono hacia la producción en las hojas de compuestos fotoprotectores tales como flavonoides y ácidos fenólicos (Schumaker *et al.*, 1997; Warren *et al.*, 2003; Kotilainen *et al.*, 2008; Morales *et al.*, 2010.); y (iii) cambios en la expansión de las hojas como resultado del aumento en la actividad de las peroxidases de la pared celular (Tegelberg *et al.*, 2001; Wargent *et al.*, 2009.; Robson & Aphalo, 2012). Igualmente, la radiación UV-B puede dañar directamente el complejo proteico del fotosistema II, lo que resulta en una reducción de la tasa de fotosíntesis neta (Hideg *et al.*, 1993). Menos conocidos son los efectos de la radiación UV-A, que también provoca efectos biológicos significativos.

Los estudios de suplementación de radiación UV-B mediante lámparas han sido muy útiles para develar los efectos de este tipo de radiación en las plantas, estos estudios deben ser complementados con experimentos de exclusión de radiación UV mediante filtros de plástico. Los estudios de exclusión permiten la identificación de los efectos de los niveles ambientales de UV en las plantas (Sullivan 2005; Amudha *et al.*, 2005). Por otra parte, existe una creciente evidencia de que la radiación UV-A también provoca respuestas en las plantas que a veces son opuestas a aquellas provocadas por la radiación UV-B, un fenómeno que podría ser el resultado de los diferentes fotorreceptores que median las respuestas a las radiaciones UV-B y UV-A (Ryel *et al.*, 2010). Por lo tanto, es de esperar que la exclusión de los dos tipos de radiación ultravioleta produzca resultados diferentes a los de la exclusión de un solo tipo. Por ejemplo, Kotilainen *et al.* (2008) informan de un experimento en campo con árboles de *Alnus incana* y *Betula pubescens* en el que la concentración de compuestos fenólicos en las hojas variaba de manera diferente en respuesta a la exclusión de la radiación UV-B, o de la exclusión de la radiación UV-A/UV-BV.

La simbiosis micorrízica es probablemente la asociación mutualista más extendida entre plantas y hongos con más de 90% de todas las especies de plantas presentando algún tipo de asociación con hongos micorrízicos (Aerts, 2002). La simbiosis micorrízica arbuscular (HMA) es el tipo más común; en la simbiosis HMA los hongos penetran en las células corticales y forman grupos de hifas finamente divididos conocido como arbúsculos, también forman vesículas dentro y fuera de las células corticales (Turk *et al.*, 2006). Los resultados de múltiples investigaciones indican que los hongos micorrízicos pueden ayudar a las plantas a hacer frente a diferentes tipos de estrés, esto a través de la promoción del crecimiento de la planta y a la resistencia inducida a enfermedades (Pineda *et al.*, 2010). Por ejemplo, las micorizas pueden estimular el crecimiento de plantas mediante la mejora de la absorción de nutrientes, especialmente fósforo (Smith *et al.*, 2011). Del mismo modo, las micorizas pueden mejorar la capacidad de absorción de agua de las plantas al aumentar la conductividad hidráulica de la raíz, mejorando así la capacidad de las plantas para resistir la sequía (Turk *et al.* 2006; Ruiz-Lozano 2003). Además, los hongos micorrízicos pueden proporcionar protección contra ciertas enfermedades de la raíz (Jeffries *et al.*, 2003).

Es interesante que muchos estudios muestran que la radiación UV-B puede afectar de manera negativa la colonización de raíces por parte de HMA (Klironomos, 1995; Van de Staaij *et al.*, 2001; Zaller *et al.*, 2002). Este efecto indirecto de la radiación UV sobre la colonización HMA se puede atribuir a cambios inducidos por la radiación UV en el equilibrio de fitohormonas en la planta huésped, ya que la evidencia indica que la colonización de micorizas puede ser en parte regulada desde el lado de la planta por la acción de fitohormonas (Hause *et al.*, 2007). Por ejemplo, el ácido abscísico (ABA) contribuye a la susceptibilidad del tomate a la infección por HMA y parece jugar un papel importante en el desarrollo de los arbúsculos (Herrera-Medina *et al.*, 2007). Del mismo modo, auxinas tales como el ácido indolacético (IAA) pueden estimular la

colonización HMA de las raíces al incrementar el número de raíces finas durante las fases tempranas de crecimiento (Hause *et al.*, 2007). Los estudios mencionados anteriormente han dado alguna información sobre el efecto de la radiación UV-B en la simbiosis micorrízica. Sin embargo, todavía hay un conocimiento limitado sobre el efecto que tienen los niveles ambientales de la radiación UV sobre la simbiosis micorrízica.

El objetivo de esta investigación fue analizar los efectos individuales e interactivos de la radiación UV y la colonización HMA en el crecimiento vegetativo de plántulas de *Populus deltoides*, *Salix nigra*, y *Betula nigra*, tres especies de árboles que no toleran crecer bajo la sombra. Estas especies fueron elegidas porque son de rápido crecimiento, están adaptados a altos niveles de radiación UV, y pueden tener una mayor respuesta a las micorizas que las especies tolerantes a la sombra (Siqueira *et al.*, 1998; Zangaro *et al.*, 2005). Se plantearon cuatro hipótesis: (1) la exclusión de radiación UV alterará el crecimiento, la morfología y la distribución de biomasa en plántulas de *P. deltoides*, *B. nigra*, y *S. nigra*, (2) la colonización HMA tendrá un efecto positivo en el crecimiento de las plántulas, (3) la exclusión de la radiación UV aumentará el porcentaje de colonización de raíces por HMA, y (4) habrá una interacción significativa entre la radiación UV y la colonización de micorizas, de forma tal que la colonización MA evitara, al menos en parte, los efectos perjudiciales de la radiación UV.

Materiales y Métodos

Material vegetal

Las especies de árboles evaluadas en este estudio se encuentran comúnmente en hábitats abiertos a lo largo de las riberas de los ríos en la parte oriental de los Estados Unidos (Jurgensen *et al.*, 1996). *Populus deltoides* Bartram. ex Marshall (Salicácea) es una especie pionera que ha sido objeto de intensa investigación para su uso en las industrias de la

madera y la pulpa de papel, y como posible cultivo energético forestal (Bradshaw *et al.* 2000). *Salix nigra* Marshall (Salicáceas) es una especie pionera común en los márgenes de los ríos y pantanos, es la única de cerca de 90 especies de sauces nativos de América del Norte con importancia comercial (Burns & Honkala, 1990). *Betula nigra* L. (Betulaceae) es una especie de crecimiento rápido que crece en las tierras bajas a lo largo de las riberas y zonas húmedas en el este de América del Norte (Coyle & Bolita, 1982).

Diseño experimental

Los experimentos se llevaron a cabo en los invernaderos de la Universidad Estatal de Iowa, en Ames, Iowa, EE.UU. Se recogieron semillas de *P. deltoides*, *S. nigra* y *B. nigra* en diferentes localidades en Ames ($42^{\circ} 0'05''$ N $93^{\circ} 37'12''$ W, 287 m de altitud). Veinte (20) semillas de cada especie se sembraron en macetas en forma de cono (Ray Leasch Cono-contenedores: volumen 0,15 L, 205 mm de longitud, 40 mm de diámetro superior; Stuewe and Sons, Corvallis, Oregon, EE.UU.) que contenían una mezcla 1:1 de arena y suelo, con un pH 6.7 (en agua) previamente esterilizada en un autoclave durante 90 min. Dos semanas después de la germinación se ralearon todos los contenedores y se dejó una sola plántula con un tamaño que oscilaba de 1,5 a 1,7 cm. El diseño experimental consistió en un modelo factorial, con dos niveles de radiación UV (con y sin radiación UV) y dos condiciones MA (inoculo MA esterilizado e inoculo MA vivo).

Condiciones de crecimiento

Debido a la atenuación parcial de la radiación UV producida por el vidrio del invernadero se hizo necesario el uso de radiación UV suplementaria proporcionada por lámparas fluorescentes. La radiación suplementaria se suministró diariamente por un período de 10 horas utilizando lámparas fluorescentes UV-A340Q-Panel (emiten radiación de 365 nm a 295 nm con un pico de emisión en 340nm, Q-Panel, Cleveland, Ohio EE.UU.). Las

lámparas estaban suspendidas 10 cm por encima de marcos de PVC de 6 m \times 0,9 m, los cuales estaban cubiertos con plástico de diacetato de celulosa, este plástico permite el paso de la radiación UV-A/B. Para el tratamiento de exclusión de radiación UV (-UV), los contenedores se colocaron al interior de marcos de PVC similares a los arriba descritos pero en lugar de diacetato de celulosa se usó poliéster el cual no permite el paso de la radiación UV-A/B. La radiación UV-A/B se registró con un medidor de radiación ultravioleta Solarimeter®, modelo 5.7 UVA + B Sensitive microvatio Version (Solartech, Inc., Harrison Township, Michigan, EE.UU.), a la altura del dosel a mediodía cada dos semanas durante el transcurso de cada experimento. La densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD, 400-700nm) se tomó a mediodía al interior de los marcos de PVC con un cuantómetro Field Scout Quantum Meter® (Spectrum Technologies Inc., de Plainfield, Illinois, EE.UU.). Para minimizar los efectos de la variación microambiental, las posiciones de las plantas dentro de los marcos de PVC y dentro de cada invernadero se rotaron a diario.

Inoculación micorrízica

La infección micorrízica fue establecida mediante la adición de 6 g de SYMBIVIT® endomicorriza (Symbiom, Lanskroun, República Checa), este inóculo contiene una mezcla de fragmentos raíces colonizadas, micelios y esporas de *Glomus mosseae*, *G. microaggregatum*, *G. claroidicum*, *G. intraradices*, *G. entunicatum*, y *G. geosporum*. Estas especies de HMA usualmente son compatibles con las especies de plantas evaluadas. Las plántulas del control recibieron la misma cantidad de SYMBIVIT® previamente esterilizado en autoclave (121 °C por 30 min).

Análisis de crecimiento

El número de hojas y la altura de las plantas se midieron cada 15 días. Las plantas se cosecharon después de tres meses, en el momento de la cosecha se midió el diámetro del tallo por encima

del cuello de la raíz, cada plántula fue dividida en hojas, tallo y raíces. Las hojas fueron escaneadas y el área foliar se determinó utilizando el software Compu Eye, Leaf & software Area® (Bakr, 2005).

Las muestras se secaron a 70°C durante 48 horas, luego se pesaron y se calcularon diferentes parámetros de crecimiento para cada una de las plantas (Tabla 1).

Tabla 1. Parámetros de crecimiento, morfología, y asignación de biomasa evaluados, abreviaturas utilizadas y las unidades en que estos se expresan.

Abreviatura	Significado	Unidades
A	Altura	cm
NH	Número de hojas	Sin unidades
AF	Área foliar	cm ²
DT	Diámetro del tallo	mm
PSH	Peso seco de hojas	G
PSA	Peso seco aéreo	G
PSR	Peso seco de raíz	G
PST	Peso seco total	G
R/A	Relación peso seco aéreo/raíz (PSR / PSA)	g.g ⁻¹
AFE	Área foliar específica (AF/PSH)	cm ² .g ⁻¹
RAF	Relación de área foliar (AF/PST)	cm ² .g ⁻¹

Determinación del porcentaje de colonización de las raíces

Durante la cosecha se tomó una muestra de la raíz (1-2 g) de cada plántula para hacer la cuantificación de la colonización micorrízica. Las muestras de raíces se aclararon en una solución de KOH al 10%, se acidificaron en HCl al 1%, y se tiñeron con azul de tripano (0,05%) en glicerol ácido (Robertson *et al.*, 1999). Posteriormente, las muestras se almacenaron en una solución 1: 1: 1 de agua, glicerina y ácido láctico, hasta que fueron examinadas. En el momento del examen cada muestra se esparció en la base de una caja de Petri (8,5 cm diámetro) que tenía una cuadrícula inscrita, y se observó con un microscopio de disección. Cada intersección entre una línea de la cuadrícula y una raíz se clasificó como micorrízica (en caso de haber presencia de estructuras fúngicas)

o no micorrízica, todas las intersecciones fueron registradas. A continuación, la muestra fue redistribuida y el proceso se repitió dos veces para tener un total de tres conteos. El porcentaje de colonización HMA se calculó como la relación entre el número de intersecciones con presencia de estructura HMA y el número total de intersecciones multiplicado por 100 (Brundrett *et al.*, 1996).

Análisis estadístico

El programa R-2.15.1 se utilizó para realizar el análisis estadístico, el nivel de significancia se fijó en 0,05. Con el fin de reducir el número de pruebas realizadas dado el gran número de variables registradas y puesto que los tamaños de las muestras eran pequeños en relación con el número de variables, se utilizó un análisis de varianza multivariado permutacional (PERMANOVA) para identifi-

car los efectos significativos de la exclusión de la radiación UV, el inóculo MA, y sus interacciones. Se realizaron pruebas de ANOVA permutacional (Manly, 2007) para ayudar a determinar las variables que contribuyeron a las diferencias significativas observadas en el análisis multivariado. Se empleó la prueba HSD de Tukey para probar las diferencias entre las medias. Los porcentajes de colonización de la raíz se transformaron para lograr la normalidad y cumplir con los supuestos de los análisis estadísticos paramétricos. Las variables de crecimiento, morfología y asignación de biomasa, evaluadas se describen en la Tabla 1. Igualmente, se realizó un meta-análisis utilizando el software MetaWin 2 (Rosenberg *et al.*, 1999), con el objetivo de identificar los efectos globales de la radiación UV y la colonización MA en los tres experimentos.

Resultados

Condiciones ambientales

Los experimentos con *P. deltoides* y *S. nigra* se realizaron entre marzo y mayo de 2013. Durante ese período de tiempo la temperatura media del aire fue de $25,6 \pm 0,5^\circ\text{C}$ (min. $17,5^\circ\text{C}$, máx. 41°C) y la humedad relativa promedio fue $51,2 \pm 1,7\%$ (min. 21%, máx. 91%). La PPFD medida al interior del marco de PVC cubierto con diacetato de celulosa a mediodía y bajo condiciones de cielo despejado fue en promedio $1325 \pm 78 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (min. $649 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, máx. $1741 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$). La radiación UV-A/B al mediodía fue en promedio $15 \pm 0,7 \text{ W m}^{-2}$ (min. 6 W m^{-2} , máx. 32 W m^{-2}). La PPFD al interior del marco de PVC cubierto con poliéster fue 7% mayor que la registrada al interior del marco cubierto de celulosa, el promedio fue de $1438 \pm 117 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (min. $585 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, máx. $1900 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la irradiancia UV-A/B fue de 0 W m^{-2} . El experimento con *B. nigra* se realizó entre abril y junio de 2013. Durante el experimento, la temperatura media del aire fue de $26,2^\circ\text{C} \pm 0,4^\circ\text{C}$ (min. $17,4^\circ\text{C}$, máx. $41,8^\circ\text{C}$) y la humedad relativa promedio fue de 52

$\pm 0,6\%$ (min. 21%, max. 91%). La PPFD medida al interior de la cubierta de diacetato de celulosa fue de $1346 \pm 60 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (min. $649 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, máximo $1.800 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) y la radiación UV-A/B promedio fue de $15 \pm 0,6 \text{ W m}^{-2}$ (min. 7 W m^{-2} , máx. 32 W m^{-2}). La PPFD al interior de la película de poliéster fue de $1447 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1} \pm 80$, (min. $649 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, máx. $1.998 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) esto es un 7% más alto que la registrada en el interior del marco recubierto con diacetato de celulosa; la radiación UV-A/B fue de 0 W m^{-2} .

Mediciones de crecimiento

Los resultados del PERMANOVA para cada uno de los tres experimentos mostraron que el conjunto de variables dependientes (Tabla 1) no se vio afectado significativamente por el inóculo MA. Sin embargo, fueron significativamente afectados por la radiación UV (*P. deltoides* $F_{2,60} = 23.72$, $P \leq 0,01$; *S. nigra* $F_{2,50} = 14.81$, $P \leq 0,01$; y *B. nigra* $F_{2,60} = 9.51$, $P \leq 0,01$). En comparación con las plántulas cultivadas en presencia de radiación UV, las plántulas de *P. deltoides* que crecieron en su ausencia tuvieron menor área foliar, área foliar específica (AFE), y razón de área foliar (RAF) (Figura 1, Tabla 2). El AFE es una medida del grosor de la hoja y / o la densidad del tejido foliar (bajo SLA indica hojas gruesas o densas); la RAF es una medida de la superficie fotosintética con relación a la masa total de la planta. Los análisis de varianza no detectaron efectos interactivos entre la radiación UV y el inoculo MA para ninguna de las variables en ninguna de los tres especies (Tabla 2). Las plántulas de *S. nigra*, cultivadas sin radiación UV tuvieron tallos más largos y gruesos, y mayor peso seco de raíces y peso seco total que aquellas plántulas cultivadas en presencia de la radiación UV (Figura 1, Tabla 2). La exclusión de la radiación UV también resultó en mayor AFE y RAF (Figura 1, Tabla 2). En comparación con las plántulas cultivadas con radiación UV, las plántulas de *B. nigra* cultivados en el tratamiento de exclusión UV tenían significativamente menor AFE y RAF (Figura 1, Tabla 2).

Colonización de las raíces

Todas las plántulas de *P. deltoides*, *B. nigra* y *S. nigra* inoculadas con inoculo vivo presentaron estructuras MA al interior de las raíces, aquellas inoculadas con inóculo esterilizado no presentaron evidencia de colonización MA. Los resultados del ANOVA mostraron que, para las plántulas de *P. deltoides*, el inóculo MA resultó en tallos más cortos y de menor diámetro

de ($P < 0,004$, Tabla 2). No hubo correlación significativa entre el porcentaje de colonización y la altura ($R = -0,27$, $n = 30$, $p = 0,15$). Curiosamente, hubo diferencia significativa en el peso seco total entre plántulas de *P. deltoides* inoculadas y no inoculadas cuando crecieron sin radiación UV, pero no hubo diferencias en el peso seco total entre las dos condiciones MA cuando las plántulas crecieron expuestas a la radiación UV (Figura 1).

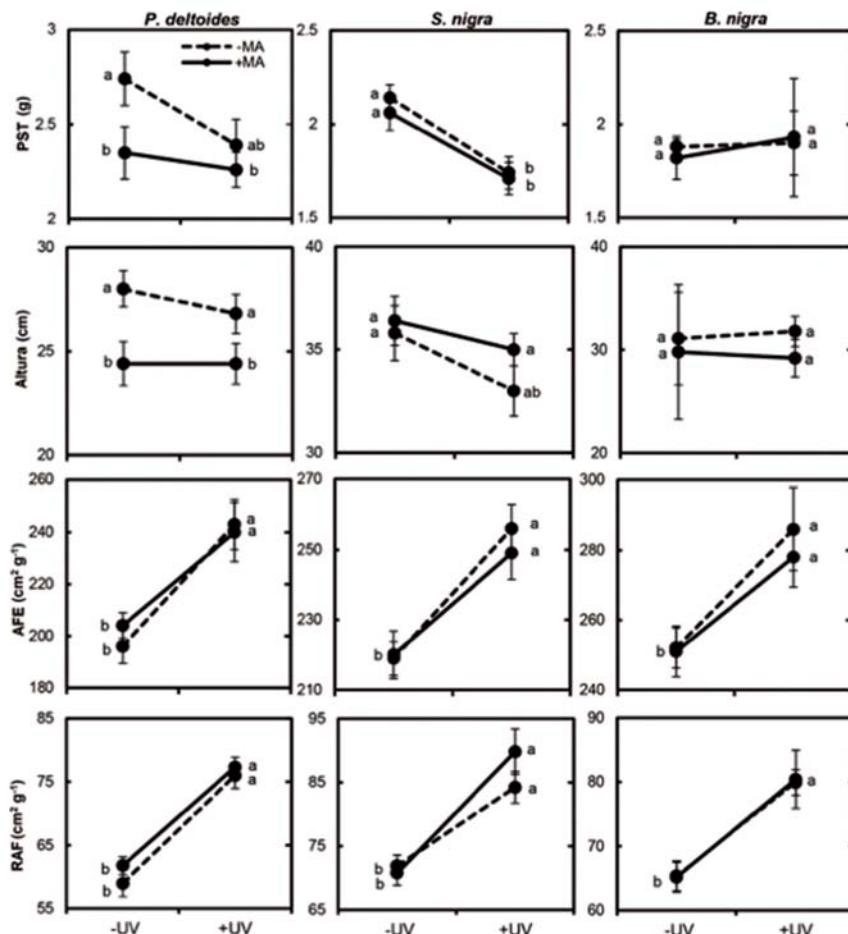


Figura 1. Efectos de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en la altura, PST, AFE y RAF de *P. deltoides*, *B. nigra* y *S. nigra* plántulas. Cada valor es la media \pm ES. Medias con letras diferentes son significativamente diferentes ($P < 0,004$, test post-ANOVA Tukey).

Los resultados de ANOVA (Tabla 2) mostraron que, para las plántulas de *S. nigra*, la inoculación MA no tuvo efectos significativos sobre las variables asociadas a la morfología o al crecimiento, pero si lo fue para la variable asociada a asignación de biomasa: la relación raíz parte aérea (R/A).

La relación R/A en plántulas colonizadas fue de 0,7 mientras que para las plántulas no colonizadas esta proporción fue de 0,78. En el caso de las plántulas de *B. nigra*, no hubo diferencias significativas entre las dos condiciones MA para ninguna de las variables evaluadas (Tabla 2).

Tabla 2. Resumen de los análisis estadísticos de los efectos de la radiación UV y la colonización micorrízica.

Espece	Parámetro	UV (1)	HMA (1)	UV x HMA (1)
<i>P. deltoides</i>	altura (cm)	0.34	10.19 **	0.34
	Diámetro del tallo (cm)	7.67	10.43*	2.1
	Área foliar (cm ²)	11.65**	2.53	0.11
	AFE (cm ² .g ⁻¹)	24.69***	0.15	0.47
	RAF (cm ² .g ⁻¹)	80.19***	1.69	0.16
<i>S. nigra</i>	Diámetro del tallo (cm)	13.74***	0.13	0.2
	Peso seco aéreo (g)	14.2***	0.34	0.64
	Peso seco de raíz (g)	20.72***	4.74	0.22
	Peso seco total (g)	20.12***	0.39	0.09
	AFE (cm ² .g ⁻¹)	26.10***	0.23	0.34
	RAF (cm ² .g ⁻¹)	40.05***	0.76	1.83
	T:R	0.14	12.48***	3.98
<i>B. nigra</i>	AFE (cm ² .g ⁻¹)	11.31*	0.81	0.16
	RAF (cm ² .g ⁻¹)	30.57***	0.6	0.01

Los valores estadísticos tabulados son los valores de F de las pruebas de ANOVA para el efecto principal de la radiación UV (UV), la colonización micorrízica (HMA), y la interacción entre ellos (UV x HMA), los grados de libertad están entre paréntesis. Niveles de significancia con corrección de Bonferroni para análisis de varianza (** p <0,0001; ** p <0,001; * P <0,005).

Solo se muestran aquellos variables con diferencias significativas a P<0.004.

Efecto de la radiación UV sobre la colonización micorrízica

Las plántulas de *P. deltoides* y *S. nigra* que crecieron en ausencia de radiación UV tuvieron una mayor extensión en la colonización micorrízica que aquellas que crecieron en presencia de radiación UV (Tabla 3). El porcentaje promedio de colonización para plántulas de *P. deltoides* cultivadas bajo exclusión de radiación UV fue de 40% frente al 30% para las cultivadas en presencia de radiación UV (Figura 2). Por otro lado, las plántulas de *S. nigra* cultivadas en condiciones de exclusión UV tuvieron en promedio una colonización HMA de 11%, frente al 4,3% para las plántulas cultivadas en presencia de radiación UV (Figura 2). En plántulas de *B. nigra* la colonización HMA no fue significativamente afectada por la radiación UV (Figura 2).

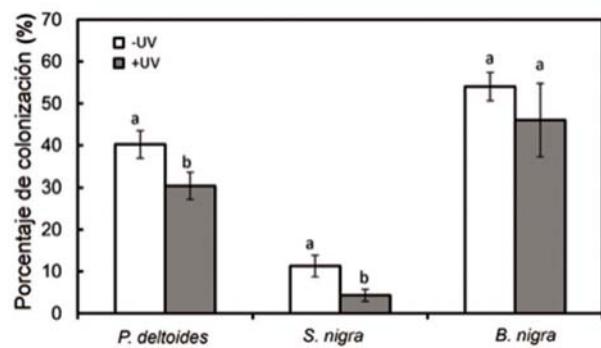


Figura 2. Efecto de la radiación UV sobre la porcentaje de colonización HMA en plántulas de *P. deltoides*, *S. nigra* y *B. nigra*. Las barras representan la media ± ES; barras con letras diferentes son significativamente diferentes (P <0.05, prueba post-ANOVA Tukey).

Tabla 3. Efecto de la radiación UV sobre la colonización micorrízica en plántulas de *P. deltoides*, *B. nigra* y *S. nigra*.

Especie	F	gl	N
<i>P. deltoides</i>	4.56*	1	30
<i>S. nigra</i>	5.95*	1	25
<i>B. nigra</i>	0.86 ^{ns}	1	10

Valores de F y niveles de significación para ANOVA
(* p <0,05; ** p <0,01; *** p <0,001).

Efectos generales

En un meta-análisis se examinan los resultados de diferentes experimentos para probar si juntos demuestran un efecto que es grande, moderado,

pequeño, o no diferente de cero (Gurevitch *et al.* 1992). El método meta-analítico que se usó en esta investigación se basa en la estimación de la magnitud del efecto de interés de las variables en cada uno de los tres experimentos. Los resultados de los meta-análisis mostraron que en general, la radiación UV tiene un efecto negativo en el diámetro del tallo, peso seco de la raíz, y en la relación R/A; y tiene un efecto positivo en el AFE y RAF (Figura 3). En el caso de la colonización MA, el efecto de esta sobre las variables evaluadas no fue significativamente diferente de cero excepto para el peso seco total, que fue menor en las plántulas colonizadas (Figura 4). Del mismo modo, los resultados de los meta-análisis mostraron que la radiación UV redujo la tasa de colonización MA.

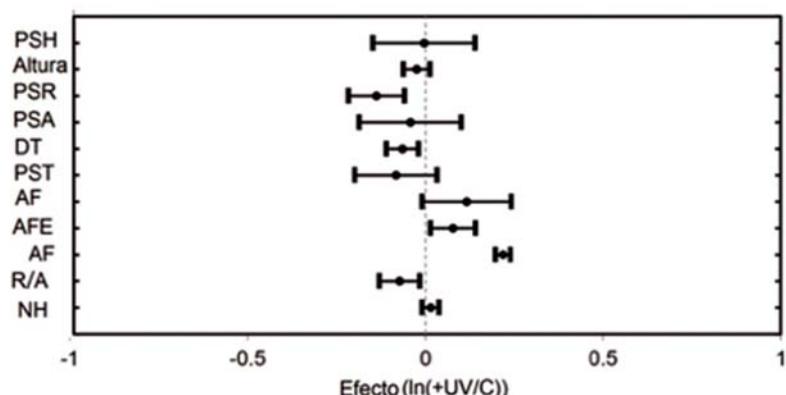


Figura 3. Efecto de la radiación UV sobre los parámetros de crecimiento en las especies evaluadas. Cada línea representa un intervalo de confianza (IC) del 95% para el tamaño del efecto de las variables de cada una de las tres especies; el efecto de la radiación UV se considera neutral para las variables cuyo CI contiene al cero.

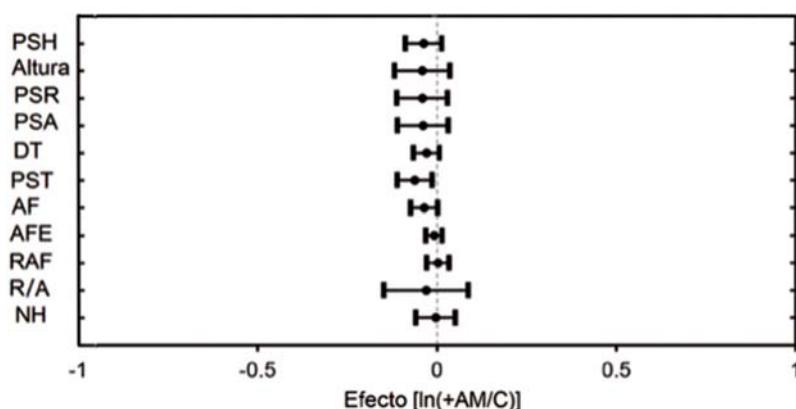


Figura 4. Efecto de AM colonización en los parámetros de crecimiento a través de las especies evaluadas. Cada línea representa un intervalo de confianza del 95% (IC) para el tamaño del efecto de las variables de cada una de las tres especies; el efecto de la colonización AM se considera neutral para aquellas variables cuyo IC contiene al cero.

Discusión

Efecto de la radiación UV

La exclusión de la radiación UV produjo un aumento de la biomasa en una de las tres especies evaluadas, y produjo menores valores para las variables AFE y RAF en las tres especies (Figura 1 Tabla 2). Estos resultados proporcionan apoyo parcial para la hipótesis (1) de que la exclusión de la radiación UV podría afectar el crecimiento, morfología y distribución de biomasa en plántulas de *P. deltoides*, *B. nigra*, y *S. nigra*. Los resultados muestran que la radiación UV indujo de forma consistente cambios en la morfología de las hojas. Es generalmente aceptado que la radiación UV es un factor de estrés que puede inducir respuestas morfogenéticas en hojas tales como: cambios en el espesor de la hoja y alargamiento (Weih *et al.*, 1998; Bassman *et al.*, 2001; Ren *et al.*, 2006; Yang & Yao 2.008; Xu *et al.*, 2010). El tipo de alteraciones en AFE y RAF inducidas por la exclusión de la radiación UV que aquí se registran son similares a los reportados por Schumaker *et al.* (1997); ellos encontraron un aumento en el grosor de hojas en esquejes de *Populus trichocarpa* cuando las plantas fueron cultivadas en un ambiente con niveles reducidos de radiación UV-B. El aumento en el grosor de la hoja se explicó como el resultado de mucho más parénquima en empalizada, que a su vez dio lugar a un aumento en la tasa de fotosíntesis en comparación con esquejes cultivados en niveles normales de radiación UV-B. En la presente investigación, solo las plántulas de *S. nigra* tuvieron menor peso seco total cuando crecieron en presencia de radiación UV. Puesto que una reducción en la acumulación de biomasa se considera un indicador fiable de la sensibilidad de las plantas a la radiación UV ya que representa la acumulación de los efectos deletéreos de ésta sobre la fisiología de las plantas (Smith, 2000), la reducción en el peso seco total indica que las plántulas de *S. nigra* pueden ser más sensibles a los efectos de la radiación UV que las plántulas de *P. deltoides* y *B. nigra*. Este resultado sugiere que la radiación UV podría ser un factor que influye de manera importante en la interacción entre estas especies.

Efecto del inóculo MA

Aunque se observaron estructuras MA en las raíces de todas las plántulas expuestas al inóculo vivo, la colonización micorrízica no resultó en un mayor crecimiento de las plantas, y en un caso las plantas colonizadas fueron en promedio más pequeñas que las del control (Figura 1). Este resultado no es compatible con la hipótesis (2) de que la colonización micorrízica tendría un efecto positivo en el crecimiento de las plántulas. Aunque las micorrizas se consideran generalmente una asociación mutualista en la cual ambas especies se benefician, en condiciones particulares de alta o baja disponibilidad de fósforo la colonización por HMA puede dar lugar a un falta de respuesta de crecimiento o incluso a una respuesta negativa en el crecimiento (Smith *et al.*, 2009). Por lo tanto, algunos autores señalan que las respuestas de las plantas a la colonización micorrízica pueden variar en un continuo que va desde la mutualista hasta la parasitaria, apareciendo la relación parasitaria cuando los costos de la colonización, en términos de carbono, superan los beneficios de una mayor absorción de fósforo (Johnson *et al.*, 1997; Schroeder & Janos, 2004). Los resultados aquí presentados sugieren una relación de tipo comensalista, de hecho, una observación común en las tres especies fue la alta frecuencia de aparición de vesículas y muy pocos arbúsculos. Mientras que las vesículas son consideradas como estructuras especializadas en la acumulación de productos de almacenamiento, los arbúsculos se consideran el sitio de transferencia de fosfato por parte del hongo a la planta (Fitter, 2006). Las hifas intercelulares se consideran los sitios donde se realiza la transferencia recíproca de carbono de la planta al hongo (Smith *et al.*, 2001). Los resultados también indican efectos diferenciales de la colonización micorrízica sobre las especies evaluadas. Es bien conocido que la colonización por HMA puede dar lugar a diferentes efectos sobre distintas especies de plantas e incluso a nivel intraespecífico (Munkvold *et al.*, 2004).

Efecto interactivo

El efecto positivo de la exclusión de la radiación UV en el porcentaje de colonización micorrízica en plántulas de *P. deltoides* y *S. nigra* apoyan la hipótesis (3) de que la exclusión de radiación UV se traduciría en un aumento en la tasa de colonización HMA. Este resultado es consistente con otros estudios; por ejemplo, van de Staaij *et al.* (2001), en un experimento de campo con *Calamagrostis epigeios* y *Carex arenaria* expuestas a altos niveles de radiación UV-B, reportaron la reducción de la tasa de colonización MA. El mayor porcentaje de colonización micorrízica en plántulas cultivadas en ausencia de radiación UV reportado en este estudio, se puede explicar cómo el resultado de más recursos disponibles para la formación de micorrizas. Puesto que la respuesta típica de las plantas a la radiación UV es la producción de compuestos fotoprotectores, es de esperar que en ausencia de radiación UV se dé una reducción en la concentración de tales compuestos. Por ejemplo, en un estudio de campo con plantas de *Populus trichocarpa*, Schumaker *et al.* (1997) encontraron una reducción en la concentración de flavonoides en las hojas de las plantas que crecieron expuestas a bajos niveles de radiación UV-B. Una reducción en la producción de compuestos fotoprotectores implica la posibilidad de que más recursos queden disponibles para ser asignados a la formación de micorrizas. Sin embargo, contrario a la hipótesis (4), no hubo interacciones entre el inoculo MA y la radiación UV para ninguna de las variables evaluadas; todos los efectos observados fueron claramente atribuibles ya sea a la radiación UV o al inoculo MA.

Efectos generales (meta-análisis)

Los efectos generales de la radiación UV en las plántulas incluyen la reducción en el diámetro del tallo, peso seco de la raíz, y la relación R/A (Figura 3). Del mismo modo, las plántulas que crecieron expuestas a la radiación UV tuvieron menor AFE y RAF (Figura 3). Por otra parte, aunque las especies mostraron marcadas diferencias en sus porcentajes de colonización micorrízica (Figura 2),

el efecto global de la colonización micorrízica fue una reducción en la acumulación de biomasa (Figura 4). Los resultados muestran que los niveles ambientales de la radiación UV pueden ejercer un efecto indirecto sobre las micorrizas en las plántulas de las especies evaluadas.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó en cumplimiento de un requisito parcial para optar por el título de PhD. en el Departamento de Ecología, Evolución y Biología de Organismos de Iowa State University. El autor desea agradecer al Dr. James Raich por sus asesorías y revisión del manuscrito; a los doctores Dean Adams y Dianne Cook por la asistencia con los análisis estadísticos. También se desea agradecer a los doctores Thomas Jurik, Brian Wilsey y Richard Hall por su ayuda en la revisión del manuscrito. El autor está en deuda con Paul Frater por su ayuda con el trabajo con las micorrizas. Igualmente, el autor expresa agradecimiento al Department of Ecology Evolution and Organismal Biology de Iowa State University.

Literatura citada

1. Aerts, R. (2002). The role of various types of mycorrhizal fungi in nutrient cycling and plant competition. In: Heijden MGA, Sanders IR (eds) Mycorrhizal Ecol. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp 117–134
2. Alexieva, V., Sergiev, I., Mapelli, S. & Karanov, E. (2001). The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. *Plant, Cell Environ* 24:1337–1344.
3. Amudha, P., Jayakumar, M. & Kulandaivelu, G. (2005). Impacts of Ambient Solar UV (280-400 nm) Radiation on Three Tropical Legumes. *J Plant Biol* 48:284–291.
4. Atkinson, N.J. & Urwin, P.E. (2012). The interaction of plant biotic and abiotic stresses: from genes to the field. *J Exp Bot* 63:3523–43.
5. Bakr, E.M. (2005). A new software for measuring leaf area, and area damaged by *Tetranychus urticae* Koch. *J Appl Entomol* 129:173–175.
6. Ballaré, C.L., Caldwell, M.M., Flint, S.D. *et al.* (2011). Effects of solar ultraviolet radiation on terrestrial ecosystems. Patterns, mechanisms, and interactions with climate change. *Photochem Photobiol Sci* 10:226–41.

7. Bassman, J.H., Robberecht, R. & Edwards, G. (2001). Effects of Enhanced UV B Radiation on Growth and Gas Exchange in *Populus deltoides* Bartr . ex Marsh Author (s): John H . Bassman , Ronald Robberecht , Gerald E . Edwards Published by : The University of Chicago Press Stable. 162:103–110. Recuperado de: <http://www.jstor.org/>
8. Bradshaw, H.D., Ceulemans, R., Davis, J. & Stettler, R. (2000). Emerging Model Systems in Plant Biology: Poplar (*Populus*) as A Model Forest Tree. *J Plant Growth Regul* 19:306–313.
9. Brundrett, M., Bouger, N., Dell, B. et al. (1996). Working with Mycorrhizas in Forestry and Agriculture. ACIAR Monograph 32, Canberra
10. Burns, R.M. & Honkala, B.H. (1990). Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods. United States Department of Agriculture, Forest Service
11. Coyle, B.F., Sharik, T.L. & Ferrer, P. (1982). Variation in leaf morphology among disjunct and continuous populations of river birch (*Betula nigra* L.). *Silvae Genet* 31:122–125.
12. Dukhovskis, P., Juknys, R., Brazaityte, A. & Zukauskaitė, I. (2003). Plant Response to Integrated Impact of Natural and Anthropogenic Stress Factors. *Russ J Plant Physiol* 50:147–154.
13. Fitter, A.H. (2006). What is the link between carbon and phosphorus fluxes in arbuscular mycorrhizas? A null hypothesis for symbiotic function. *New Phytol* 172:3–6.
14. Frederick, J.E. (1993). Ultraviolet sunlight reaching the earth's surface: a review of recent research. *Photochem Photobiol* 57:175–178.
15. Grover, M., Ali, S.Z., Sandhya, V. et al. (2010) Role of microorganisms in adaptation of agriculture crops to abiotic stresses. *World J Microbiol Biotechnol* 27:1231–1240.
16. Gurevitch, J., Morrow, L.L., Wallace, A. et al. (1992) A Meta-Analysis of Competition in Field Experiments. *Am Nat* 140:539–572.
17. Hanlon, M.T. & Coenen, C. (2011). Genetic evidence for auxin involvement in arbuscular mycorrhiza initiation. *New Phytol* 189:701–9.
18. Hause, B., Mrosk, C., Isayenkova, S. & Strack, D. (2007). Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. *Phytochemistry* 68:101–10.
19. Herrera-Medina, M.J., Steinkellner, S., Vierheilig, H. et al. (2007) Abscisic acid determines arbuscule development and functionality in the tomato arbuscular mycorrhiza. *New Phytol* 175:554–64.
20. Hideg, É., Sass, L., Barbato, R. & Vass, I. (1993). Inactivation of photosynthetic oxygen evolution by UV-B irradiation: A thermoluminescence study. *Photosynth Res* 38:455–462.
21. Huang, S., Dai, Q., Peng, S. et al. (1997). Influence of supplemental ultraviolet-B on indoleacetic acid and calmodulin in the leaves of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Growth Regul* 21:59–64.
22. Jansen, M.K. (2002). Ultraviolet-B radiation effects on plants: induction of morphogenic responses. *Physiol Plant* 116:423–429.
23. Jeffries, P., Gianinazzi, S., Perotto, S. et al. (2003). The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol Fertil Soils* 37:1–16.
24. Johnson, N.C., Graham, J.H. & Smith, F.A. (1997). Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytol* 135:575–585.
25. Jurgensen, M.F., Richter, D.L., Davis, M.M. et al. (1996). Mycorrhizal relationships in bottomland hardwood forests of the southern United States. *Wetl Ecol Manag* 4:223–233.
26. Kliromos, J.N. & Allen, M.F. (1995). UV-B-mediated changes on below-ground communities associated with the roots of *Acer saccharum*. *Funct Ecol* 9:923–930.
27. Kotilainen, T., Tegelberg, R., Julkunen-Tiitto, R. et al. (2008). Metabolite specific effects of solar UV-A and UV-B on alder and birch leaf phenolics. *Glob Chang Biol* 14:1294–1304.
28. Lichenthaler, H.K. (1996). Vegetation Stress: an Introduction to the Stress Concept in Plants. *J Plant Physiol* 148:4–14.
29. Manly, B.F.J. (2007). Randomization, Bootstrap and Monte Carlo Methods in Biology, 3rd ed. London
30. Morales, L.O., Tegelberg, R., Brosché, M. et al. (2010). Effects of solar UV-A and UV-B radiation on gene expression and phenolic accumulation in *Betula pendula* leaves. *Tree Physiol* 30:923–34.
31. Munkvold, L., Kjøller, R., Vestberg, M. et al. (2004). High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol* 164:357–364.
32. Paul, N.D. & Gwynn-Jones, D. (2003). Ecological roles of solar UV radiation : towards an integrated approach. *Trends Ecol Evol* 18:48–55.
33. Phoenix, G.K., Gwynn-Jones, D., Lee, J.A. & Callaghan, T.V. (2003). Ecological importance of ambient solar ultraviolet radiation to a sub-arctic heath community. *Plant Ecol* 165:163–174.
34. Pineda, A., Zheng, S.-J., van Loon, J.J.A. et al. (2010). Helping plants to deal with insects: the role of beneficial soil-borne microbes. *Trends Plant Sci* 15:507–514.
35. Pozo, M.J., Jung, S.C. & López-Ràez, J. A-AC. (2007). Impact of arbuscular mycorrhizal symbiosis on plant response to biotic stress: the role of plant defence mechanisms. In: Koltai H KY (ed) Arbuscular mycorrhizas Physiol. Funct. Springer Berlin Heidelberg, pp 193–207
36. Pühler, A., Strack, D., Hause, B. et al. (2007). Jasmonates in arbuscular mycorrhizal interactions. *Phytochemistry* 68:101–110.
37. Ren, J., Yao, Y., Yang, Y. et al. (2006). Growth and physiological responses to supplemental UV-B radiation of two contrasting poplar species. *Tree Physiol* 26:665–72.
38. Robertson, G.P., Coleman, D.C., Bledsoe, C.S. & Sollins, P. (1999). Standard soil methods for long-term ecological research. Oxford University Press
39. Robson, T.M. & Aphalo, P.J. (2012). Species-specific effect of UV-B radiation on the temporal pattern of leaf growth. *Physiol Plant* 144:146–60.

40. Rosenberg, M.S., Adams, D.C. & Gurevitch, J. (1999). MetaWin 2.0 (User's Manual): Statistical Software for Meta-Analysis. 128.
41. Ruiz-Lozano, J.M. (2003). Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of osmotic stress. New perspectives for molecular studies. *Mycorrhiza* 13:309–17.
42. Ryel, R.J., Flint, S.D. & Barnes, P.W. (2010). Solar UV-B Radiation and Global Dimming : Effects on Plant Growth and UV-Shielding. In: Wei Gao, Slusser JR, Schmoldt DL (eds) UV Radiat. Glob. Clim. Chang. Springer Berlin Heidelberg, pp 370–394
43. Schroeder, M.S. & Janos, D.P. (2004). Phosphorus and intraspecific density alter plant responses to arbuscular mycorrhizas. *Plant Soil* 264:335–348.
44. Schumaker, M.A., Bassman, J.H., Robberecht, R. & Rademaker, G.K. (1997). Growth, leaf anatomy, and physiology of Populus clones in response to solar ultraviolet-B radiation. *Tree Physiol* 17:617–26.
45. Singh, S.S., Kumar, P. & Ashwani, K.R. (2006). Ultraviolet radiation stress: molecular and physiological adaptations in trees. Abiotic Stress Toler. plants. Springer Netherlands, pp 91–110
46. Siqueira, O., Aurelio, M., Rosado, S. & Davide, C. (1998). Mycorrhizal colonization and mycotrophic growth of native woody species as related to successional groups in Southeastern Brazil. 241–252.
47. Smith., F.A., Grace, E.J. & Smith, S.E. (2009). More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytol* 182:347–58.
48. Smith, J. (2000). Shoot Dry Weight, Chlorophyll and UV-B-absorbing Compounds as Indicators of a Plant's Sensitivity to UV-B Radiation. *Ann Bot* 86:1057–1063.
49. Smith, S.E., Dickson, S. & Smith, F.A. (2001). Nutrient transfer in arbuscular mycorrhizas: how are fungal and plant processes integrated? *Funct Plant Biol* 28:685–696.
50. Smith, S.E., Jakobsen, I., Grønlund, M. & Smith, F.A. (2011). Roles of arbuscular mycorrhizas in plant phosphorus nutrition: interactions between pathways of phosphorus uptake in arbuscular mycorrhizal roots have important implications for understanding and manipulating plant phosphorus acquisition. *Plant Physiol* 156:1050–7.
51. van de Staaij, Rozema, J. van Beem, A. & Aerts, R. (2001). Increased solar UV-B radiation may reduce infection by arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in dune grassland plants: evidence from five years of field exposure. *Plant Ecol* 154:169–177.
52. Sullivan, J.H. (2005). Possible impacts of changes in UV-B radiation on North American trees and forests. *Environ Pollut* 137:380–389.
53. Tegelberg, R., Julkunen-Tiitto, R. & Aphalo, P.J. (2001). The effects of long-term elevated UV-B on the growth and phenolics of field-grown silver birch (*Betula pendula*). *Glob Chang Biol* 7:839–848.
54. Turk, M.A., Assaf, T.A. & Hameed, K.M. (2006). Significance of mycorrhizae. *World J Agric Sci* 2:16–20.
55. Wargent, J.J., Moore, J.P., Roland Ennos, A. & Paul, N.D. (2009). Ultraviolet radiation as a limiting factor in leaf expansion and development. *Photochem Photobiol* 85:279–86.
56. Warren, J.M., Bassman, J.H., Fellman, J.K. et al. (2003). Ultraviolet-B radiation alters phenolic salicylate and flavonoid composition of *Populus trichocarpa* leaves. *Tree Physiol* 23:527–35.
57. Weih, M., Johanson, U. & Gwynn-Jones, D. (1998). Growth and nitrogen utilization in seedlings of mountain birch (*Betula pubescens* ssp. *tortuosa*) as affected by ultraviolet radiation (UV-A and UV-B) under laboratory and outdoor conditions. *Trees* 12:201–207.
58. Xu, X., Zhao, H., Zhang, X. et al. (2010). Different growth sensitivity to enhanced UV-B radiation between male and female *Populus cathayana*. *Tree Physiol* 30:1489–98.
59. Yang, Y.Q. & Yao, Y. (2008). Photosynthetic responses to solar UV-A and UV-B radiation in low-and high-altitude populations of *Hippophae rhamnoides*. *Photosynthetica* 46:307–311.
60. Zaller, J.G., Caldwell, M.M., Flint, D.S. et al. (2002). Solar UV-B radiation affects below-ground parameters in a fen ecosystem in Tierra del Fuego, Argentina: implications of stratospheric ozone depletion. *Glob Chang Biol* 8:867–871.
61. Zangaro, W., Nishidate, F.R., Camargo, F.R.S. et al. (2005). Relationships among arbuscular mycorrhizas, root morphology and seedling growth of tropical native woody species in southern Brazil. *J Trop Ecol* 21:529–540.

Conflictos de Intereses

El autor declara no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 21 de octubre de 2014
Aceptado: 17 de noviembre de 2014

Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos

In-vitro conservation: a perspective for the management of phytogenetic resources

Conservação in vitro: uma perspectiva para a gestão dos recursos fitogenéticos

Miguel Macgayver Bonilla Morales¹, Carolina Mancipe Murillo²
& Adriana Carolina Aguirre Morales³

¹Licenciado en Producción Agropecuaria, Magister en Ciencias Biológicas con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales. ²Ingeniera agrónoma. ³Ingeniera Agrónoma, Candidata a Magister en Ciencias Biológicas con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales.

^{1,3}Departamento de Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Agropecuarias.
Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Palmira. Colombia.

²Jardín Botánico de Bogotá José Celestino Mutis. Bogotá. Colombia.

¹mmbonillam@unal.edu.co, ²cmancipem@unal.edu.co, ³adcaguirremo@unal.edu.co

Resumen

Los recursos fitogenéticos comprenden la diversidad vegetal cultivada que tiene un valor real o potencial en la seguridad alimentaria de la humanidad. Desde esta perspectiva, cada una de las especies que han presentado un proceso de domesticación tanto a nivel local o mundial, asociando sus parientes silvestres, poseen un patrimonio genético invaluable. Por tal motivo, las especies cultivadas pueden beneficiarse mediante el flujo genético de sus parientes en busca de resistencia a plagas y enfermedades, fitomejoramiento o material adaptado al cambio climático. De tal manera, la conservación del germoplasma que posee una especie es prioridad para mantener la variabilidad genética inter e intra-específica, así como la de sus accesiones. Las estrategias de conservación *ex situ*, en campo, presentan el riesgo de pérdida por condiciones climáticas adversas, ataque de agentes patógenos, altos costos asociados al manejo agronómico, preparación de terreno, insumos y dificultad del manejo e intercambio de material.

No obstante, las técnicas de cultivo de tejidos vegetales permiten mantener las plántulas en bancos de germoplasma *in vitro*, libres de patógenos, en espacio reducido, a bajo costo y condiciones controladas que facilitan el manejo a corto y largo plazo de material vegetal, particularmente, de especies con propagación vegetativa. Esta investigación tuvo como objetivo determinar los componentes claves para introducir especies cultivadas y establecer bancos de germoplasma *in vitro* que faciliten el intercambio de material vegetal entre entidades y personas, para garantizar la conservación, disponibilidad y uso de la diversidad genética obtenida por los cultivadores.

Palabras claves: agrobiodiversidad, conservación *ex situ*, cultivo *in vitro*, diversidad cultivada.

Abstract

Phylogenetic resources include the cultivated vegetable diversity which has a real or potential value

in the food security of humanity. From this perspective, each of the species presented a domestication process either local or global, involving their wild relatives, they possess an invaluable genetic heritage. For this reason, cultivated species can benefit through gene flow from relatives in search of resistance to pests and diseases, breeding or material adapted to climate change. So, the conservation of germplasm is a priority to keep the variability genetics inter and intra - specified, as well as of their accessions. Strategies of conservation ex-situ in field, run the risk of loss due to adverse climatic conditions, attack of pathogenic agents, high costs associated with agronomic management, preparation of land, inputs and difficulty of the management and exchange of material. However, plant tissue culture techniques allow to keep the seedlings in gene banks *in-vitro*, free of pathogens, footprint, low cost and controlled conditions that facilitate the handling short and long term of plant material, particularly species with vegetative propagation. This research aimed to determine the key components to enter cultivated species and establish *in-vitro* germplasm banks that facilitate the exchange of plant material between entities and individuals, to ensure the preservation, availability and use of genetic diversity obtained by growers.

Keywords: agro-biodiversity, conservation ex-situ, *in-vitro* culture, cultivated diversity

Resumo

Os recursos fitogenéticos compreendem a diversidade vegetal cultivada que tem um valor real o potencial na segurança alimentar da humanidade.

Introducción

La población humana está aumentando y consecuentemente, la demanda de alimentos, especialmente en países desarrollados (Radovet & Cañita, 2012). De una cifra actual que supera los 7 mil millones habitantes se espera para el 2050 un incremento de cerca del 30% alcanzando en sólo

Desde esta perspectiva, cada uma das espécies que têm apresentado um processo de domesticação tanto a nível local o mundial, associando os seus parentes selvagens, possuem um patrimônio genético inestimável. Por tal motivo, as espécies cultivadas podem se beneficiar através do fluxo gênico dos seus parentes em busca de resistência a pragas e doenças, melhoramento vegetal ou material adaptado às mudanças climáticas. Desse modo, a conservação do germoplasma que possui uma espécie é de vital importância para manter a variabilidade genética inter e intra-específica, bem como a dos seus acessos. As estratégias de conservação *ex situ*, em campo, têm como risco a perda por condições climáticas adversas, o ataque de agentes patógenos, altos custos associados ao manejo agronômico, preparação da área, insumos e dificuldade de manejo e intercambio de material. No entanto, as técnicas de cultura de tecidos vegetais permitem manter as plântulas em bancos de germoplasma *in vitro*, livres de patógenos, em espaço reduzido, baixo custo e condições controladas que facilitam o manejo a curto e largo prazo do material vegetal, especialmente, de espécies com propagação vegetativa. Esta pesquisa teve como objetivo determinar os componentes chaves para introduzir espécies cultivadas e estabelecer bancos de germoplasma *in vitro* que facilitem o intercambio de material vegetal entre entidades e pessoas, para garantir a conservação, disponibilidade e uso da biodiversidade genética obtida pelos produtores.

Palavras-chave: agrobiodiversidade, conservação ex situ, cultura *in vitro*, diversidade cultivada

25 años alrededor de 9 a 10 mil millones (Calva & Pérez, 2005). Los recursos fitogenéticos son considerados la base de la seguridad alimentaria, de ahí la importancia de mantener la diversidad genética de las plantas silvestres, tradicionales, regionales y cultivos mejorados (FAO, 2010; Hidalgo &

Vallejo, 2014). La conservación de estos recursos abarca métodos que captan la mayor cantidad de diversidad de genotipos, así como uso de técnicas de conservación y posterior multiplicación que mitiguen su pérdida a través del tiempo, de forma controlada, buscando maximizar la diversidad de ejemplares recolectados de poblaciones en campo o en su centros de origen (Sánchez & Jiménez, 2010; Rivera *et al.*, 2008).

La técnica de cultivo de tejidos vegetales a través de la propagación *in vitro* permite la producción masiva de plantas libre de patógenos, a bajo costo, en espacio reducido, en menor tiempo, bajo condiciones controladas con enfoques comerciales y agroindustriales, además de la producción de material vegetal para el establecimiento de cultivos y la generación de metabolitos secundarios (Bonilla & Hernández, 2012; Tavazza *et al.*, 2015). También, abre alternativas para el establecimiento de bancos de germoplasma para la conservación *in vitro* e intercambio de recursos fitogenéticos (FAO, 2010; Bonilla *et al.*, 2012). Los bancos de germoplasma *in vitro* incluyen accesiones de especies que presentan semillas de corta y poca viabilidad, enfocados particularmente a cultivos de propagación vegetativa, que son altamente heterocigóticos y requieren multiplicación clonal para conservar su integridad genética. Este último componente incorpora raíces y tubérculos de corta vida en el proceso de almacenamiento, ejemplo, *Solanum tuberosum* L. (papa), *Ipomoea batata* L. (boniato) y *Manihot esculenta* Crantz (yuca) como otras especies que hacen parte de la diversidad vegetal cultivada utilizada principalmente en la alimentación humana (García, Feria & Acosta, 2007; Bonilla & Caetano, 2013).

La agrobiodiversidad se expone diariamente a factores como el cambio climático, aumento en la demanda de los recursos naturales, minería, explotación de hidrocarburos, ampliación de la frontera agrícola, contaminación industrial, deforestación, pérdida de la diversidad genética, erosión del suelo como de agroecosistemas (Sans, 2007; González y Martín, 2011; Mohan, 2011;

Reed *et al.*, 2011), importantes para su desarrollo, crecimiento y permanencia presente y futura. Por tal motivo, la estrategia mundial para la conservación de plantas, firmada por más de 180 países en 2002, plantearon frenar esta pérdida mediante la comprensión y conservación de la diversidad vegetal, y la promoción del uso sostenible mediante técnicas de conservación en campo y laboratorio (Mohan, 2011; Reed *et al.*, 2011). Por lo tanto, el presente artículo tiene como objetivo determinar los principales procesos para introducir especies cultivadas en bancos de germoplasma *in vitro* que faciliten el intercambio de material vegetal entre entidades y personas, en busca de garantizar la conservación, disponibilidad y uso de la diversidad genética obtenida por los cultivadores.

Conservación *in vitro*

En general, las técnicas de conservación se han centrado en plantas vasculares con semillas (Simpson, 2010). El cultivo *in vitro* se remonta al desarrollo de técnicas de conservación, siendo estas relativamente fáciles (Martín, 2006; Rountree *et al.*, 2011). De acuerdo con Mohan (2011) e Iriondo (2011), la conservación *in vitro* trae una serie de ventajas, como la obtención de material libre de patógenos, tasas de multiplicación altas, suministro constante de plantas a los productores, bajo costo en la producción, mantenimiento de la fidelidad genética del material. Sin embargo, algunas desventajas pueden ser la pérdida de material genético por contaminaciones, dependencia de mano de obra calificada y que el material puede destruirse en caso de un siniestro.

El conocimiento de la composición genética es esencial en cualquier plan de conservación integral, siendo esta un componente importante en la biología de la conservación por ser el nivel más alto de diversidad biológica, pues sin variación genética las poblaciones no podrían evolucionar y adaptarse a los cambios ambientales (Gonzales & Martin, 2011; Rountree *et al.*, 2011). Es por esto que cuando una especie es conservada *in vitro* debe revisarse de manera periódica y evitar los

ciclos muy largos para desfavorecer las variaciones somacloniales (Gonzales & Martin, 2011).

La conservación de tejidos prolongada puede resultar en cambios genéticos y dar lugar a una progenie con alteraciones características (variación somaclonal) en lugar de conservar las adaptaciones genotípicas a sus condiciones naturales. Sin embargo, a diferencia de otros métodos de conservación (bancos de semillas y colecciones vivas en campo) los bancos de genes *in vitro* contienen todo la variabilidad genética de plantas que pueden ser continuamente propagadas y estar disponibles para investigación, así mismo, provee clones en caso de necesitar material homogéneo en investigaciones y posibilidad de cultivar materiales élite, libre de patógenos (Daskalova *et al.*, 2011; García, Feria & Acosta, 2007).

Para la conservación de tejidos en frío, generalmente se recurre a las zonas meristemáticas, que se encuentran en activa división y que son más resistentes a las bajas temperaturas dado su tamaño pequeño, citoplasma denso y pocas vacuolas, razón por la cuales el contenido de agua intracelular es bajo, aspecto importante a tener en cuenta para evitar daños durante el proceso de congelación (García, Feria & Acosta, 2007), adicionalmente deben tenerse en cuenta las condiciones de temperatura a las cuales la planta es tolerable. Las especies tropicales son sensibles al frío y deben ser almacenadas a temperaturas relativamente altas en función de su sensibilidad, por ejemplo, el género *Musa* sp., se almacena preferiblemente a 15°C durante máximo 15 meses tiempo en el cual debe ser transferido a campo. Por su parte, la yuca puede ser conservada a temperaturas mayores o iguales a 20°C (Engelmann, 2011). En estos casos la reducción de la temperatura puede realizarse al disminuir la intensidad de luz o al realizar cultivo en oscuridad.

Los métodos de conservación *in vitro* se consideran particularmente interesantes para aquellas especies hortícolas con semillas recalcitrantes o

propagadas por métodos vegetativos, por eso, la yuca es una de las especies que más se ha potenciado mediante el uso de esta técnica (Figura 1). Igualmente ocurre con la mayoría de las rosas, las cuales al ser heterocigotas y muy variables, se propagan por métodos vegetativos. En Irán un gran número de especies de rosa han sido expuestas a la extinción y por lo tanto las técnicas de conservación son necesarias para preservarlas (Kavand *et al.*, 2011).



Figura 1. Conservación *in vitro* de yuca (*Manihot esculenta*).

En general la conservación puede ser clasificada de acuerdo con su duración: a corto plazo (crecimiento reducido,) y a largo plazo (crioconservación) (Sánchez & Jiménez, 2010). De acuerdo con Engelmann (2011) y Pence (2011), existen cuatro razones por las cuales se deben emplear las técnicas de propagación y conservación *in vitro*: i) algunas plantas no producen semillas y como es el caso del plátano y el banano, se reproducen de forma vegetativa, ii) algunas especies generan genotipos estériles y genotipos con semilla ortodoxa, altamente heterocigotas por lo cual es preferible conservarlas como clones, como la papa y caña de azúcar. iii) especies frutales y forestales tropicales generalmente producen semillas recalcitrantes, iv) la conservación de especies con semilla intermedias es aún problemática.

Especies en peligro de extinción y que prestan servicios al hombre tales como alimentación, insumos para construcción, salud y en muchos casos ornamentales merecen particular atención y esfuerzos de conservación (Bonilla & Caetano, 2014). Zonas ricas en biodiversidad proveen todos estos beneficios, además de los servicios ambientales, sin embargo el cambio en el uso de estos ambientes principalmente para la agricultura (caña de azúcar, caucho y palma de aceite) contribuyen a la pérdida de biodiversidad y de recursos genéticos potenciales tal como es el caso de la cuenca del Amazonas, Papua, Nueva Guinea y los bosques de Indonesia (Reed *et al.*, 2011).

Entre los recursos fitogenéticos ornamentales, las orquídeas, una de las familias más grandes y diversas de plantas con flores, son colectadas de manera desaforada, pierden hábitats y sufren los impactos del cambio climático (Aguirre, Mancipe & Bonilla, 2015). Los complejos requisitos de polinización, germinación de las semillas, y otras factores bióticos y abióticos contribuyen con la pérdida de plantas cuando no se cumple con estas condiciones, por lo cual toma importancia la conservación *in vitro* de plantas ornamentales (Hidalgo & Vallejo, 2014). Por lo anterior, la conservación de orquídeas debe integrar las amenazas actuales y futuras, polinización, biología reproductiva, propagación *in vitro* y *ex situ*, mantenimiento de diversidad genética como estrategia de recuperación de especies (Reed *et al.*, 2011). Las orquídeas son bien conocidas como importantes plantas ornamentales en Tailandia, especialmente las orquídeas silvestres, en el caso de *Cleisostoma arietinum* es una orquídea epífita y nativa de Tailandia, una especie en peligro de extinción que podría ser conservada, mediante la evaluación de protocolos de conservación (Maneerattanarungroj, Bunnag & Monthatong, 2007).

Lima *et al.* (2011) determinaron mediante experimentación que la técnica de conservación *in vitro* en siempreviva (*Syngonanthus mucugen-*

sis) es viable utilizando un medio de cultivo $\frac{1}{2}$ MS, 15gL^{-1} de sacarosa a 18°C , pues posibilita la conservación de la especie hasta por 180 días sin subcultivo, lo cual es importante dado que la especie es una herbácea ornamental que se encuentra en peligro por la explotación extractivista de sus flores. Además, procesos de limpieza de agentes perjudiciales para las plantas pueden ser erradicados mediante el cultivo *in vitro*, que juega un papel importante en la conservación de material élite, con características de resistencia al patógeno, facilitando posteriores multiplicaciones (Shukla *et al.*, 2012)

Generalmente, se busca establecer protocolos de propagación y conservación de acuerdo a la especie, tal como ocurre con *Morinda reticulata*, planta medicinal de la India amenaza por su uso indiscriminado (Raveendran *et al.*, 2012). Con fines de conservación Raveendran *et al.*, (2012) diseñaron un protocolo para la propagación plantas a partir segmentos nodales, siendo este importante para su conservación y restauración. Por su parte, *Haberlea rhodopensis* es una planta balcánica capaz de sobrevivir bajo deshidratación casi completa (anabiosis), con una actividad metabólica muy baja y tras ser hidratada vuelve rápidamente a la condición fisiología normal, dado su interés y uso potencial de sus capacidades genéticas como alternativa al cambio climático, Daskalova *et al.* (2011) realizaron estudios de propagación de la especie utilizando la combinación de tecnologías de conservación en campo e *in vitro*, finalmente se llevó a cabo el establecimiento de un banco *in vitro*.

La micropropagación, cultivo de tejidos y conservación *in vitro* y *ex situ* de plantas medicinales satisface la creciente demanda por la medicina naturista y a través del cultivo reduce la presión sobre las poblaciones naturales, siendo una de las maneras más eficaces de conservación (Krishnan, Decruse & Radha, 2011). Las plantas medicinales albergan gran diversidad de propiedades para el tratamiento de múltiples

dolencias, esta diversidad representa un importante potencial en la industria de productos medicinales naturales o en la industria farmacéutica (Bonilla & Caetano, 2014). Aunque el descubrimiento de fármacos a partir de plantas medicinales continúa, se presentan restricciones con la disponibilidad de las plantas, para ello se han utilizado técnicas de conservación (Krishnan, Decruse & Radha, 2011). Se han desarrollado protocolos de regeneración *in vitro* para especie de importancia farmacológica como *Passiflora foetida* L., con la finalidad de multiplicar el material vegetal existente y obtener líneas o clones ideales para el abastecimiento de los compuestos deseados (Shekhawat *et al.*, 2015).

Otras especies son importantes como fuente de genes, como el caso de las especies silvestres de *Arachis*, importante fuente de genes para la mejora de cacahuate. Su conservación en bancos requieren de renovaciones continuas sin embargo mucho de estos materiales se pierden por contaminación o disminución en la viabilidad que conducen a pérdidas de accesiones enteras (Gagliardi *et al.*, 2007). Igualmente, especies de *Vanilla* (Orquidaceae) son importantes por su fuente de Vanillin, utilizado como saborizante, para potenciar el aprovechamiento del género se han desarrollado programas para su conservación *in vitro* con la intención de preservar y permitir el intercambio de los recursos genéticos (Divakaran, Nirmal & Peter, 2006).

De este modo, las técnicas de laboratorio permiten mantener la integridad genética, promover altas tasas de multiplicación en espacio reducido en condiciones asépticas y permitir el intercambio de germoplasma (Lima *et al.*, 2011). Consiste en técnicas de crecimiento lento y conservación a corto, mediano y largo plazo (Normah *et al.*, 2011; Pence,

2011). Así mismo las técnicas *in vitro* se complementan con las *in situ* y tienen un respaldo con la conservación en bancos genéticos (Guo, Stiles & Liu, 2013; García, Feria & Acosta, 2007; Reed *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2012; Kaviani, Darabi & Roudposhti, 2012; Pence, 2011).

Conservación a corto plazo

En este tipo de conservación los explantes permanecen por máximo 6 meses en cultivo *in vitro*, tiempo en el cual se retrasa el crecimiento y se disminuyen los intervalos de subcultivo, mediante la reducción en la temperatura en los cuartos de crecimiento y las modificaciones en el medio de cultivo, tal como la disminución del contenido mineral (Rayas *et al.*, 2002), la adición de agentes osmóticos activos y/o la incorporación de retardadores de crecimiento (García, Feria & Acosta, 2007). Esta reducción disminuye la actividad metabólica y por ende el crecimiento de los explantes, y es combinada con otros factores de acuerdo a la especie para lograr la reducción del crecimiento; entre ellos la intensidad lumínica y disminución en la disponibilidad de oxígeno (Sánchez & Jiménez, 2010; Normah *et al.*, 2011; Lima *et al.*, 2011). Tiene como objetivos incrementar la longevidad *in vitro* de los cultivos sin que se produzcan cambios genéticos, por tanto, no hay una detención total de los procesos celulares sino una disminución en la velocidad en que ocurren los mismos y para reducir la frecuencia de transferencia de las plantas a medio de cultivo fresco (Figura 2). La limitación del crecimiento por efecto de la concentración osmótica se debe a la reducción de la adsorción de agua y nutrientes del medio de cultivo (García, Feria & Acosta, 2007). La sacarosa como es altamente metabolizable, puede actuar como agente osmótico en concentraciones elevadas (Ramírez, Guevara & Escobar, 2012).

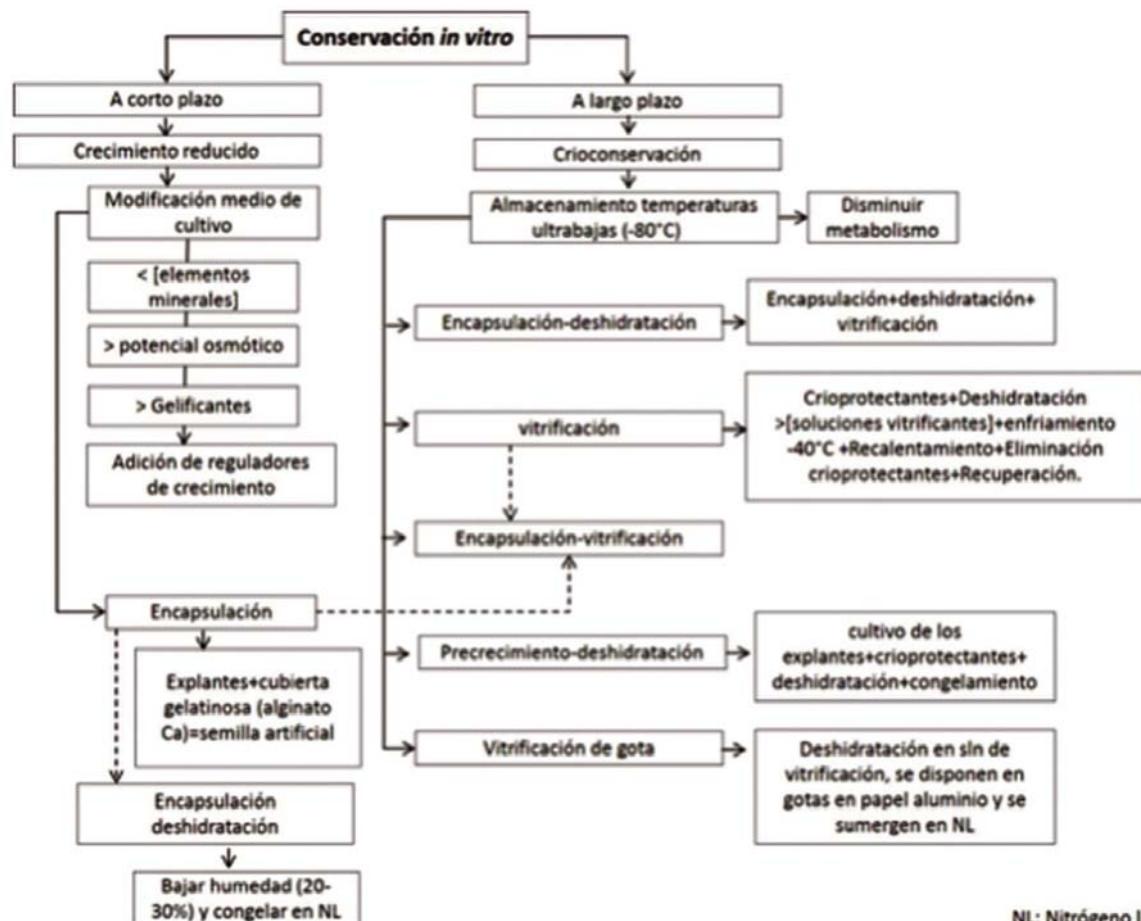


Figura 2. Estrategia de conservación *in vitro* para los recursos fitogenéticos.

Otros agentes osmóticos no metabolizables, como el manitol y el sorbitol, son más efectivos en la limitación del crecimiento, porque interactúan con el contenido de sacarosa y la temperatura de conservación (García, Feria & Acosta, 2007). Eventualmente en los cultivos conservados *in vitro*, debido a las bajas temperaturas, la alta concentración osmótica, la reducción de la concentración de sales inorgánicas y la presencia de inhibidores del crecimiento, se puede producir un oscurecimiento de los tejidos, seguido de defoliación. Esto se atribuye a la oxidación fenólica y a la inducción de senescencia por la presencia de determinadas concentraciones de gases como el etileno, especialmente cuando se utilizan frascos pequeños o han sido sellados herméticamente (Sánchez & Jiménez, 2010).

Dependiendo de la principal fuente de alimento usada por los países, la investigación como los programas de conservación *in vitro* se centran en el estudio de sus recursos, ejemplo Cuba ha avanzado particularmente en ñame (*Dioscorea spp*), cacao (*Theobroma cacao L.*) y boniato o batata (*Ipomea batata*), y algunas plantas medicinales (Silva, 2001). Aunque, existen otras especies que tienen prioridad dentro de los recursos fitogenéticos para su conservación *in vitro* de los géneros *Agave*, *Allium*, *Ananas*, *Canna*, *Colocasia*, *Ficus*, *Ipomea*, *Musa*, *Olea*, *Piper*, *Saccharum*, *Solanum*, *Vanilla*, *vitis*, *Xanthosoma*, tubérculos andinos como frutales, entre otros (Roca, Arias & Chávez, 1991; Scott, Rosegrant & Ringler, 2000; Matos *et al.*, 2015). En la Tabla 1 se encuentra una lista de los recursos genéticos vegetales que son principalmente cultivados y conservados en bancos de germoplasma.

Tabla 1. Conservación *in vitro* de algunas especies vegetales cultivadas en bancos de germoplasma.

Familia	Especie	Nombre vulgar	Institución	País
Amaryllidaceae	<i>Allium cepa L.</i>	Cebolla cabezona	NBPGRA	India
	<i>Allium sativum L.</i>	Ajo	NBPGRA	India
	<i>Allium fistulosum L.</i>	Cebolla larga	NBPGRA	India
Rutaceae	<i>Citrus spp</i>	Citrus	CITRICULTURA PROINPA	Brasil Bolivia
Araceae	<i>Xanthosoma spp</i>	Bore	INIVIT	Cuba
Araceae	<i>Colocasia esculenta</i>	Malanga	INIVIT	Cuba
Asteraceae	<i>Smallanthus sonchifolius</i> (Poepp. & Endl.) H. Robinson	Yacon	CIP	Perú
Basellaceae	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Ulluco	CIP PROINPA	Perú Bolivia
Brassicaceae	<i>Lepidium meyenii</i> Walp.	Maca	CIP	Perú
Bromeliaceae	<i>Ananas comosus</i>	Piña	ISACA	Cuba
Cannaceae	<i>Canna edulis</i> Ker Gawl.	Achira	CIP PROINPA	Perú Bolivia
Convolvulaceae	<i>Ipomea batatas</i> (L.) Lam.	Papa dulce	CIP INIVIT	Perú Cuba
Dioscoraceae	<i>Dioscorea spp</i>	Ñame	IITA	Nigeria
Euphorbiaceae	<i>Manihot esculenta</i> Crantz <i>Manihot spp.</i>	Yuca	CIAT INIA	Colombia Venezuela
Fabaceae	<i>Pachyrhizus ahipa</i> (Wedd.)	Maca	CIP PROINPA	Perú Bolivia
Lauraceae	<i>Persea americana</i> Mill.	Aguacate	INIFAP	México
Musaceae	<i>Musa spp</i>	Banana	ITC-INIBAP	Bélgica
Malvaceae	<i>Theobroma cacao</i> L.	Cacao	INTA	Nicaragua
Nyctaginaceae	<i>Mirabilis expansa</i>	Mauka	CIP	Perú
Oxalidaceae	<i>Oxalis tuberosa</i> Molina	Oca	CIP PROINPA	Perú Bolivia
Passifloraceae	<i>Passiflora spp.</i>	Frutas de la pasión	EMBRPA JBB	Brasil Colombia
Poaceae	<i>Saccharum officinarum</i> L.	Caña de azúcar	WICSCBS INICA	Barbados Cuba
Rubiaceae	<i>Coffea spp</i>	Café	PROCAFE	Salvador
Rutaceae	<i>Citrus spp</i>	Citrus	CITRICULTURA	Brasil
Solanaceae	<i>Solanum tuberosum</i> L.	Papa	CIP PROINPA	Perú Bolivia
	<i>Solanum phureja</i> Juz. & Bukasov	Papa criolla	CIP PROINPA	Perú Bolivia
Tropaeolaceae	<i>Tropaeolum tuberosum</i> Ruiz & Pavón	Mashua	CIP PROINPA	Perú Bolivia

Condiciones de incubación

a. Medio de cultivo

La reducción en la concentración de elementos minerales (carbohidratos metabolizables) en el medio de cultivo, es una estrategia importante para la reducción del crecimiento del explante, así mismo se puede aumentar el potencial osmótico del medio mediante el uso de carbohidratos no metabolizables, tales como el manitol, mayor concentración de gelificantes y adición/supresión de reguladores de crecimiento, por lo anterior el explante absorbe los nutrientes de manera lenta reduciéndose consecuentemente el crecimiento (Sánchez & Jiménez, 2010; Lima *et al.*, 2011; Engelmann, 2011).

En estudios realizados por Kavand *et al.*, (2011), se demostró que la inclusión de $3\mu\text{M}$ GA₃ en el medio de cultivo, incremento significativamente el número de brotes axilares y la altura de los tallos. De acuerdo con autores para rosa se recomienda una concentración de auxinas (1 mg/L de IBA y 0,5 mg/L de IAA). Numerosos parámetros influyen en la eficiencia de ensayos *in vitro*: protocolos de almacenamiento de crecimiento lento como el tipo de explantes, su estado fisiológico al entrar en el almacenamiento, el tipo de recipiente de cultivo, su volumen, así como el tipo de cierre del recipiente de cultivo (Engelmann, 2011).

b. Encapsulación

Las plantas propagadas de manera *in vitro* pueden estar expuestas a deterioro en comercialización, inconvenientes superados con el uso de la técnica de encapsulación (Tavazza *et al.*, 2015). Este material ha sido descrito como un embrión somático encapsulado, o semilla sintética contenido en una matriz, entendiéndose como semilla a cualquier tipo de propágulo vegetativo. El producto del proceso de encapsulación es un propágulo (unipolar o bipolar) en una matriz para proteger de daños mecánicos y fisiológicos, convirtiéndose en un mecanismo importante en el intercambio de material libre de patógenos entre laboratorios (Germana *et al.*, 2007).

Esta técnica se basa en recubrir los embriones somáticos, yemas gametofíticas o ápices con una cubierta gelatinosa (por ejemplo alginato de calcio) para formar semillas sintéticas, proporcionando a la vez protección contra la deshidratación y las bajas temperaturas durante el almacenamiento (Sánchez & Jiménez, 2010; Barnicoat *et al.*, 2011; Engelmann, 2011; Bunnag & Khonkayan, 2010). En el método de encapsulación los explantes son recubiertos por perlas de alginato de calcio (que puede contener sales minerales y sustancias orgánicas), formando de esa manera las semillas artificiales. Posteriormente estas semillas son tratadas con altas concentraciones de sacarosa y se secan dejando un contenido de humedad de 20 a 30 % (bajo flujo de aire o el uso de gel de sílice) para luego ser congelado rápidamente en nitrógeno líquido. Debido a las altas tensiones provocadas durante el proceso, se debe utilizar crioprotectantes como la sacarosa, que aumenta la tolerancia a desecación ayudando a mantener la viabilidad de los tejidos (Kaviani, Darabi & Roudposhti, 2012; Faisal *et al.*, 2006).

La deshidratación permite mayor flexibilidad cuando se manipula gran número de muestras y no se requiere de congeladores programables, de esta manera, el método de encapsulación y deshidratación ha sido aplicado a los ápices (tanto de clima templado y especies tropicales), semillas, embriones somáticos y suspensiones celulares en un gran número de especies (Roca, Arias & Chávez, 1991; Ramírez, Guevara & Escobar, 2012). En este método, la extracción gradual de agua a partir de explantes encapsulados es realizada durante el precultivo en medio enriquecido con sacarosa (Pimda & Bunnag, 2010). Las molaridades de sacarosa en los granos se incrementa aún más por la tasa adicional de aire de secado o deshidratación con aire laminar en cabina, para alcanzar el punto de saturación de la solución de sacarosa y transición durante el enfriamiento a -196 ° C en nitrógeno líquido, para prevenir la formación de cristales de hielo (Pimda & Bunnag, 2010; Bunnag & Khonkayan, 2010).

Se han propuesto numerosos factores que participan en la adaptación de los explantes a la desecación y bajo estrés térmico. La sacarosa, glucosa, fructosa y oligosacáridos (por ejemplo, rafinosa y estaquiosa) se han reportado como un factor principal que se encuentra comúnmente en la acumulación de azúcares solubles junto con el desarrollo de la tolerancia a la congelación en la mayoría de las plantas, lo que sugiere que estos azúcares no sólo sirven como osmoprotectores, sino que también juegan un papel en la protección de la membrana celular de los daños causados por la deshidratación y la congelación a través de la interacción con la bicapa lipídica (Pimda & Bunnag, 2010).

Además de los azúcares, el ácido abscísico (ABA) también ha sido propuesto para desempeñar un papel en la baja temperatura y tolerancia a la sequía (Azcón-Bieto & Talon, 2008). En el endurecimiento de las plantas se exhibe un aumento endógeno de ABA, lo que implica que esta fitohormona está posiblemente asociada con el consiguiente aumento de la tolerancia a la congelación de las plantas expuestas a bajas temperaturas, razón por la cual el ABA ha sido empleado en mejoramiento, en la desecación y en la tolerancia a temperaturas bajas en muchas especies (Pimda & Bunnag, 2010; Bunnag & Khonkayan, 2010).

En algunos casos, la encapsulación de segmentos nodales de especies en peligro de extinción como *Tecomella undulata* mediante una matriz de gelificante (3% de Alginato de Sodio en MS basal) y suplementado con 2,5 M BA (6- Bencyl Aminopurina) + 0,5 M AIA (3 Acido Indoloacético), seguido de su plantación en MS +10 M BA permite una alta producción de brotes después del proceso de almacenamiento (Shaheen & Shahzad, 2015). Sin embargo, especies arbóreas de larga vida como las *Sequoia sempervirens* bajo procesos de no encapsulación de yemas durante 12 meses, responde idóneamente a la regeneración de brotes (Ozudogru *et al.*, 2011).

Conservación a largo plazo

Esta técnica permite almacenar semillas, meristemos, ápices, polen, callos y suspensiones celulares, considerándose una herramienta útil para evitar variaciones somacloniales en plantas con propagación vegetativa y permitiendo la conservación de explantes por tiempo de almacenamiento indefinido (Sánchez & Jiménez, 2010). También se le ha denominado a este proceso crecimiento lento, por lo que mediante regulación osmótica se controla la entrada de compuestos químicos indispensables para el crecimiento y desarrollo para la planta (Tavazza *et al.*, 2015).

Crioconservación

La crioconservación se puede considerar un sistema no letal de almacenamiento de tejidos biológicos a temperaturas ultra bajas, pues permite detener su metabolismo (Rivera *et al.*, 2008; Tavazza *et al.*, 2015). Por consiguiente, las estructuras vegetales utilizadas generalmente son meristemos, ápices, semillas, embriones cigóticos, polen y embriones somáticos para asegurar la estabilidad genética de los materiales (Rivera *et al.*, 2008). El almacenamiento durante períodos prolongados de células, tejidos u órganos vegetales vivos a temperaturas extremadamente bajas (-80 °C), utilizando nitrógeno líquido, el cual normalmente se encuentra a -196 °C es una de las técnicas que principalmente se utilizan, aunque, en algunas ocasiones, se combina el nitrógeno líquido con otros gases inertes (como el helio y el argón), este detiene las actividades metabólicas del explante y a la vez permite su viabilidad sin que existan alteraciones fisiológicas durante el almacenamiento y manteniendo las características genéticas (Sánchez & Jiménez, 2010; Krishnan, Decruse & Radha 2011; Guo, Stiles & Liu, 2013; García, Feria & Acosta, 2007).

Entre las especies crioconservadas se encuentran plátano (*Musa spp.*), yuca (*Manihot esculenta*), zarza fruta (*Rubus*), pera (*Pyrus*), solanáceas, café (*Coffea arabica*), palma de aceite (*Elaeis*

Guineensis), té (*Camellia sinensis*) (Mohan, 2011), *Rubus*, *Pyrus*, *Solanum*, *Elaeis guineensis* (Rivera et al., 2008) y es una alternativa para la conservación de especies como *Vanda pumila*, *Bletilla striata*, *Geodorum densiflorum*, *Doritaenopsis orchid*, *Ipomoea batatas* y *Armoracia rusticata* (Maneerattanarungroj, Burnag & Monthatong, 2007). La crioconservación de semillas reclacitrantes es exitosa principalmente en cítricos entre ellos *C. aurantiifolia* y *C. limonia* que de acuerdo con ensayos el 91.7% de las semillas sobrevivió a la técnica (Normah et al., 2011; Reed et al., 2011).

En la vitrificación se ofrecen ventajas como la rápida congelación, lo que es más apropiado para órganos, en estos casos, la etapa crítica para la supervivencia es la deshidratación y no la congelación, por lo que se sumerge el material en nitrógeno para impedir la formación de cristales de hielo a fin de evitar daños que imposibiliten la regeneración en el tejido al descongelar el material crioconservado (Engelmann, 2011; Pence, 2011). Así mismo tiene aplicaciones en la eliminación de virus (crioterapia), al actuar sólo sobre el domo meristematico y en la base del primordio, lo que la convierte en una alternativa para su eliminación, como es el caso del virus del mosaico del pepino, virus del rayado del banano, virus del enrollamiento de la hoja de papa, entre otros (Mohan, 2011). Hasta la fecha, los patógenos graves en banano (*Musa spp.*), *Citrus spp.*, vid (*Vitis vinifera*), *Prunus spp.*, frambuesa (*Rubus idaeus*), papa (*Solanum tuberosum*) y batata (*Ipomoea batatas*) han sido erradicado mediante crioterapia (Engelmann, 2011).

Guo, Stiles & Liu (2013) realizaron un estudio en *Saussurea involucrata* una planta medicinal de China, difícil de cultivar, pero mediante un método de optimización que consistió en la incubación por un periodo de 3 días en un medio que contenía 0.3 M de sacarosa, se transfirió la planta a una solución de vitrificación durante 60 minutos y de inmediato se introdujeron en nitrógeno líquido. Para descongelar los tejidos se calentaron a 40°C durante 2 minutos, este método dio lugar a una

supervivencia de 56% y una tasa de regeneración del 40%, la regeneración se mejoró al incubar los calllos a 4°C durante 12 días antes de iniciar el protocolo de crioconservación, aumentando la tasa de supervivencia del tejido a 75% y una tasa de regeneración mayor al 60%, además se duplico el número de brotes regenerados por explante (Guo et al., 2013). El crecimiento lento de genotipos de alcachofa (*Cynara cardunculus* var. *scolymus* L.) presentaron estabilidad genética al ser evaluados durante los 6 y 12 meses de desarrollo, con un porcentaje de supervivencia que llegó hasta el 85%, y todas estas plantas rebrotaron, tanto que a los dos meses las vitroplantas recuperaron su crecimiento potencial.

En el caso del café, también, se han desarrollado protocolos de crioconservación con duplicados en nitrógeno líquido con materiales de varios países de América Latina y el Caribe (Biodiversity international, 2011; Jung et al., 2012; Scocchi et al., 2004). Las criocolecciones no requieren la regeneración periódica para mantener el vigor del material conservado, contrario a los bancos de germoplasma de campo, lo que significa un aumento en los costos, convirtiéndose en un riesgo si se conservan especies en peligro de extinción, pues podrían extinguirse (Biodiversity international, 2011).

En el éxito de plantas crioconservadas se deben tener en cuenta aspectos como: estado fisiológico de la planta, precultivo, tratamientos crioprotectantes, velocidades de enfriamiento, recalentamiento y recuperación al medio, con el fin de tener plantas vigorosas del criogéno. Los meristemos suelen ser escogidos para conservación debido a las pequeñas y compactas células con pocas vacuolas, lo que facilita el tratamiento, es así como se ha tenido éxito en ápices de yuca, banano, papa y *Parkia speciosa* Hassk. En el caso de semillas recalcitrantes se dificulta su crioconservación debido a los grandes contenidos y variaciones de humedad, estructura y la variación intra e interespecífica de las especies. Por lo tanto en meristemos apicales producidos a partir de brotes adventicios generados a partir de segmentos nodales *in*

vitro son más uniformes y ofrecen mejores exponentes para la crioconservación (Normah *et al.*, 2011).

Durante el proceso de crioconservación se produce una serie de tensiones en la planta, causando daño oxidativo por la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), por lo cual se deben adicionar antioxidantes en diferentes pasos de los protocolos (Normah *et al.*, 2011). Estudios de proteómica en banano elucida que las diferencias en tolerancia a deshidratación durante procesos de crioconservación pueden deberse a isoformas específicas de enzimas implicados en el metabolismo energético, así mismo con proteínas asociadas a la adaptación al estrés, por lo cual es fundamental los estudios en proteómica para observar los cambios en las expresiones proteicas asociadas con la técnica (Normah *et al.*, 2011).

Vitrificación

La vitrificación implica el tratamiento de las muestras con crioprotectores, deshidratación con altas concentraciones de soluciones vitrificantes, rápido enfriamiento, recalentamiento, eliminación de crioprotectores y la recuperación (Engelmann, 2011). Las sustancias crioprotectoras más utilizadas son dimetilsulfóxido (DMSO), manitol, sorbitol, sacarosa y polietilenglicol (PEG), estos tienen acción osmótica, pero algunos de ellos (por ejemplo DMSO) pueden entrar en las células y proteger la integridad celular durante la congelación (Rivera *et al.*, 2008). Para la crioconservación de tejidos diferenciados como órganos, ápices, embriones cigóticos y somáticos, se han desarrollado nuevas técnicas durante los últimos años que consisten en extraer la mayor parte del agua por deshidratación física u osmótica de los explantes seguida por una congelación muy rápida que produce vitrificación de los solutos contenidos dentro de las células, es decir, la formación de una estructura vítrea amorfa sin que se presente la formación de cristales de hielo que son perjudiciales para la estructura celular (Roca, Arias & Chávez, 1991; Ramírez, Guevara & Escobar, 2012). Para la mayoría de los materiales, es conveniente hacer un

enfriamiento lento (0,5 a 2°C/min) hasta alcanzar aproximadamente los -40°C, y posteriormente realizar la inmersión rápida de muestras en nitrógeno líquido (Rivera *et al.*, 2008).

Por otro lado, la encapsulación-vitrificación es una combinación de procedimientos de encapsulación, deshidratación y vitrificación en la que las diferentes muestras se encuentran encapsuladas en perlas de alginato y sometidos a congelación por vitrificación (Martín, 2006; Raveendran *et al.*, 2012; Tavazza *et al.*, 2015). La deshidratación consiste en eliminación de humedad del explante y luego congelarlo de forma directa mediante inmersión en nitrógeno líquido. La desecación se logra al someter los tejidos a una corriente de aire comprimido o gel de sílice (Maneerattanarungroj, Bunnag & Monthatong, 2007; Bunnag & Khonkayang, 2010). Generalmente, la supervivencia óptima se logra cuando las muestras se congelan con contenidos de agua de 10 y 20% (en base al peso en fresco), y el precrecimiento y deshidratación consiste en el cultivo de los explantes en presencia de crioprotectantes, deshidratado bajo flujo de aire laminar y posterior congelamiento (Engelmann, 2011).

La supervivencia es generalmente alta, pues alcanza el 100% en algunos casos, por ejemplo, *Allium*, el ñame y la papa, por lo que la regeneración es rápida y directa y no se observa formación de callos sólo en los casos en que la técnica no está optimizada (Roca, Arias & Chávez, 1991; Ramírez, Guevara & Escobar, 2012). Estos resultados se deben a que la zona meristemática de los ápices, de la cual se origina el crecimiento organizado se compone por una población relativa de células homogéneas que se dividen activamente con pequeñas vacuolas y un alto radio núcleo citoplasmático (Ramírez, Guevara & Escobar, 2012). Otra de las razones del éxito es el desarrollo de buenos protocolos, permitiendo la obtención de material homogéneo en términos de tamaño, forma y composición, estado fisiológico aumentando las posibilidades de respuestas positivas (García, Feria & Acosta, 2007).

Una técnica de crioconservación denominada encapsulación/deshidratación se ha aplicado con éxito en más de 30 especies incluyendo varios genotipos de pera, manzana, caña de azúcar y papa, donde se utilizan los ápices y se encapsulan en perlas de alginato, pretratados en medio líquido que contiene una alta concentración de sacarosa, y parcialmente desecado antes congelación en nitrógeno líquido (Scocchi *et al.*, 2004). Por otro lado, este procedimiento presenta un comportamiento diferencial de las especies al ser sometidas a procesos como la inmersión en nitrógeno líquido, asociados a la congelación y descongelación que actúan como una escarificación, resultando en una mayor permeabilidad y cambio en la fisiología de las semillas después del almacenamiento criogénico que resulta en mayor germinación (Kokowicz *et al.*, 2011; Bunnag y Khonkayan, 2010). Cuando las semillas son grandes, por lo que no se pueden congelar de manera directa, la crioconservación es una opción, sin embargo, los embriones a menudo presentan sensibilidad a la desecación (Engelmann, 2011).

Conclusiones

Los recursos fitogenéticos son la principal fuente de alimentación que garantiza la seguridad alimentaria de la humanidad, de tal manera, el preservar la identidad genética de cada una de las variedades o culti-variedades es importante para su uso local o mundial, por lo que la conservación *ex situ* mediante las técnicas de cultivo de tejidos en los procesos de micropropagación de explantes como los ápices de plantas de propagación vegetativa, garantiza el mantenimiento del patrimonio genético de cada una de las accesiones que se introducen al banco de germoplasma *in vitro*.

La conservación *in vitro*, a largo plazo, permite mantener vitroplantas, mínimo durante un año, con la finalidad de disminuir los costos en el manejo de material como el ciclo de subcultivos, reduciendo los efectos de variación somaclonal que

se pueden presentar en el material vegetal y conservando fidedignamente la estructura genética de las accesiones.

Literatura citada

1. Aguirre, C., Mancipe, C. & Bonilla, M. (2015). Conservación *in vitro*: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos. I Simposio Colombiano de Recursos Fitogenéticos Neotropicales-VIII Congreso Colombiano de Botánica. 102 pp.
2. Azcon-Bieto J. &, Talon M. (2008).Fundamentos de fisiología vegetal. 2da edición. Mc Graw-Hill. New York, NY. 656 pp.
3. Barnicoat, H., Cripps, R., Kendon J. & Sarasan, V. (2011). Conservation *in vitro* of rare and threatened ferns-case studies of biodiversity hotspot and island species. *Cell. Dev.Biol.Plant.* 47: 37–45.
4. Bonilla, M., Pachón, J., Quiñonez, L. (2012). Establecimiento de banco de germoplasma de *Dioscorea* spp. de la Orinoquia Colombiana: potencial uso en la industria. V Congreso Internacional de Plantas Medicinales: productos naturales y biodiversidad, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 50pp.
5. Bonilla, M. & Hernández, O. (2012). Propagación *in vitro* de ñame (*Dioscorea* spp.): una perspectiva en la producción masiva de plantas y conservación de germoplasma. *Revista Agronomía*. 20 (2): 65-76.
6. Bonilla, M. & Caetano, C. (2013). Inventario y valoración de la flora utilizada por la vereda Santa Teresa, Palmira (Valle del Cauca). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*.4 (1):89 -99.
7. Biodiversity international. (2011). Is cryopreservation a viable method for longterm conservation of coffee biodiversity? Recuperado de: www.biodiversityinternational.org
8. Bunnag, S. & Khonkayan, S. (2010). Long-term preservation of *Dendrobium chrysotoxum* Lindl. using encapsulation method. *Bioflux*. 2 (2): 45-50.
9. Calva, G. & Pérez, J. (2005). Cultivo de células y tejidos vegetales: la fuente de alimentos del futuro. *Revista Digital Universitaria*. 6(11): 1-16.
10. Daskalova, E., Dontcheva, S., Yahoubian, G., Minkov, I. & Toneva V. (2011). A strategy for conservation and investigation of the protected resurrection plant *Haberlea rhodopensis* Friv. *BioRisk*. 6: 41–60.
11. Divakaran, M, Nirmal, K. & Peter K. (2006). Conservation of *Vanilla* species, *in vitro*. *Scientia Horticulturae*. 110: 175–180.
12. Engelmann, F. (2011). Use of biotechnologies for the conservation of plant biodiversity. *In vitro Cell. Dev. Biol-Plant.* 47:5-16.
13. FAO. (2010).Tratado internacional sobre los recursos fitogenéticos para alimentación y la agricultura. Recuperado de: [ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0510s/i0510s.pdf](http://ftp.fao.org/docrep/fao/011/i0510s/i0510s.pdf)

14. Faisal, N., Ahmad N. & Anis, M. (2006). *In vitro* plant regeneration from alginate-encapsulated microcutting of *Rauvolfia tetraphylla* L. *American-Eurasian J. Agric y Environ. Sci.* 1 (1): 01-06.
15. Gagliardi, R., Hanai, L., Pacheco, G., Oliveira, C., Carneiro, L., Montenegro, J., Mansur, E. & Carneiro, M. (2007). Assessment of Genetic Stability Among *In vitro* Plants of *Arachis retusa*. Using RAPD and AFLP Markers for germplasm preservation. *JIPB.* 49 (3): 307–312.
16. García, L., Feria, M. & Acosta, K. (2007). Aspectos básicos de la conservación *in vitro* de germoplasma vegetal. *Biotecnología Vegetal.* 7 (2): 67 - 79.
17. Germana, M., Micheli, M., Pulcini, L. & Standardi A. (2007). Perspectives of the encapsulation technology in the nursery activity of Citrus. *Caryologia.* 60 (1-2): 192-195.
18. González, M. & Martín, C. (2011). *In vitro* Preservation of Spanish Biodiversity. *In vitro Cell.Dev.Biol.Plant.* 47: 46–54.
19. Guo, B., Stiles, A. & Liu, C. (2013). Low-temperature preincubation enhances survival and regeneration of cryopreserved *Saussurea involucrata* Callus. *In vitro Cell.Dev.Biol.-Plant.* 49: 320–325.
20. Hidalgo, R. & Vallejo, F. (2014). Base para el estudio de los recursos genético de especies cultivadas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 284pp.
21. Iriondo, J. (2011). Conservación de germoplasma de especies raras y amenazadas. *Investigación Agraria-Producción y protección vegetal.* 16 (1): 5-24.
22. Jung, Y., Sok, Y., Gi, A., Jong, W., Ji, H. & Haeng, H. (2012). Improvement of the Dplet-vitrification Method for the Cryopreservation of Cultivated Potato Shoot Tips. *Kor. J. Breed. Sci.* 44(2): 94-99.
23. Kavand, S., Kermani, M., Haghnazari, A., Khosravi, P., & Reza, M. (2011). Micropropagation and medium-term conservation of *Rosa Pulverulenta*. *Maringá.* 33 (2):297-301.
24. Kaviani, B., Darabi A. & Roudposhti, V. (2012). *In vitro* Conservation of Genetic Resources of Tea (*Camellia sinensis* L. cv.100) using Storage of Germplasms (Embryonic Axes and Shoot Tips) in Cryopreservation Conditions. *Annals of Biological Research.* 3 (7):3541-3546
25. Kokowicz, F., Aguiar, T., Simões, T., Benson, E. & Viaña, A. (2011). *In vitro* and cryogenic preservation of plant biodiversity in Brazil. *In vitro Cell.Dev.Biol.-Plant.* 47:82–98.
26. Krishnan, P., Decruse, S. & Radha, R. (2011). Conservation of medicinal plants of Western Ghats, India and its sustainable utilization through *in vitro* technology. *In vitro Cell.Dev.Biol.-Plant.* 47:110–122.
27. Lima, A., Sampaio, M., Matos, B., Resende, S., Cortizo, M. & Ferreira, J. (2011). Agentes osmóticos e temperatura na conservação *in vitro* de sempre-viva. *Ciencia Rural.* 41 (8): 1354-1361.
28. Maneerattanarungroj, P., Bunnag, S. & Monthatong, M. (2007). *In vitro* conservation of *Cleisostoma areitinum* (Rchb.f.) Garay, rare Thai Orchid species an encapsulation-dehydration method. *Asian Journal of Plant Sciences.* 6 (8): 1235-1240.
29. Matos, E., Marcano, M., Azócar, C. & Mora, A. (2015). Establecimiento y multiplicación *in vitro* de cinco cultivares de Apio (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft) colectados en Venezuela. *Bioagro.* 27 (2): 121-130.
30. Martín, I. (2006). Conservación de recursos fitogenético. Recuperado de:http://www.esporus.org/recursos/articles/agrobiodiversitat/conservacion_rec_fi_tog_isaura_martin.pdf
31. Mohan, S. (2011). Prospects of *in vitro* conservation of date palm genetic diversity for sustainable production. *Emir. J. Food Agric.* 23 (2): 110-119
32. Normah, M., Choo, W., Yap, L. & Mohamed, Z. (2011). *In vitro* conservation of Malaysian biodiversity-achievements, challenges and future directions. *In vitro Cell. Dev. Biol-Plant.* 47:26-36.
33. Ozudogru, E., Kirdok, E., Kaya, E., Capuana, M., De Carlo, A. & Engelmann, F. (2011). Medium-term conservation of redwood (*Sequoia sempervirens* (D. Don.) Endl.) *in vitro* shoot cultures and encapsulated buds. *Scientia Horticulturae.* 127: 431–435.
34. Pence, V. (2011). Evaluating costs for the *in vitro* propagation and preservation of endangered plants. *In vitro Cell. Dev. Biol-Plant.* 47:176–187.
35. Pimda, W. & Bunnag, S. (2010). Cryopreservation of *Dendrobium heterocarpum* Lindl. Via encapsulation-dehydration method. *Bioflux.* 2 (1): 7-14.
36. Radovet, D. & Cahita, D. (2012). *In vitro* conservation of some potato genotypes to improve the ecoeconomic impact of plant biotechnology. *Vasile Goldis.* 22 (4): 511-518.
37. Ramírez, H., Guevara, M. & Escobar, R. (2012). Cultivo de tejidos vegetales, conceptos y prácticas. Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Editorial Feriva S.A, Cali, Colombia. 227 pp.
38. Raveendran, R., Kavitha, M., Thilaga, S. & D. Ganesh. (2012). Conservation and *in vitro* multiplication of highly endangered Indian traditional medicinal plant (*Morinda reticulata* Gamble) through nodal explants. *Plant Knowledge Journal.* 1(2)46-51.
39. Reed, B., Sarasán, V., Kane, M., Bunn, E. & Pence, V. (2011). Biodiversity conservation and conservation biotechnology tools. *In vitro Cell. Development Biol-Plant.* 47:1–4.
40. Rivera, A., Valbuena, R., Hidalgo R. & Moreno, J. (2008). Crioconservación de yemas de microtubérculos de papa *Solanum tuberosum* ssp. andigena mediante desecado de tejidos. *Revista Corpoica.* 9(2): 37-44.
41. Roca, W., Arias, D. & Chávez, R. (1991). Métodos de conservación *in vitro* del germoplasma. In: Roca, W. & Mroginski, L., Cultivo de tejidos en la agricultura. CIAT.1-969 pp.
42. Rowntree, J., Pressel, S., Ramsay, M., Sabovljevic A. & Sabovljevic, M. (2011). *In vitro* conservation of European bryophytes. *In vitro Cell. Dev. Biol-Plant.* 47:55-64.
43. Sans, F. (2007). La diversidad de los agroecosistemas. *Ecosistemas.* 16 (1): 44-49.
44. Sánchez, N. & Jiménez, V. (2010). Técnicas de conservación *in vitro* para el establecimiento de bancos de germoplasma en cultivos tropicales. *Agronomía Mesoamericana.* 21 (1): 193-205.

- 45.** Scocchi, A., Faloci, M., Medina, R., Olmos S. & Mroginski, L. (2004). Plant recovery of cryopreserved apical meristem-tips of *Melia azedarach* L. using encapsulation/dehydration and assessment of their genetic stability. *Euphytica*. 135: 29–38.
- 46.** Scott, G., Rosegrant, M. & Ringler, C. (2000). Raíces y tubérculos para el siglo 21: Tendencias, proyecciones y opciones de política. Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias. 64pp.
- 47.** Shaheen, A. & Shahzad, A. 2015. Nutrient encapsulation of nodal segments of an endangered whitecedar for studies of regrowth, short term conservation and ethylene inhibitors influenced *ex vitro* rooting. *Industrial Crops and Products*. 69: 204–211.
- 48.** Shekhawat, M., Kannan, N., Manokari, M. & Ravindran, C. (2015). *In vitro* regeneration of shoots and *ex vitro* rooting of an important medicinal plant *Passiflora foetida* L. through nodal segment cultures. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. doi:10.1016/j.jgeb.2015.08.002
- 49.** Shukla, M., Jones, A., Sullivan, J. & Liu, C. (2012). *In vitro* conservation of American elm (*Ulmus americana*): potential role of auxin metabolism in sustained plant proliferation. *Can. J. For. Res.* 42: 686–697.
- 50.** Silva, J., Espinosa, A., Acosta, L., González, O., Licea, R. & Meneses, S. (2001). Resultados y perspectivas de la conservación *in vitro* de recursos fitogenéticos en la región oriental de Cuba. *Cuadernos de Biodiversidad*. 7 (1): 4-6.
- 51.** Simpson, M. 2010. Plant systematics. Academic Press. Second Edition. 740pp.
- 52.** Tavazza, R., Alonso, R., Papacchioli, V. & Pagnotta, L. (2015). A validated slow-growth *in vitro* conservation protocol for globe artichoke germplasm: A cost-effective tool to preserve from wild to elite genotypes. *Scientia Horticulturae*. doi:10.1016/j.scientia.2015.09.024

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 5 de agosto de 2014
 Aceptado: 10 de septiembre de 2014

Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada

Filter cake and ash carbon: agro-industrial wastes with potential for biological nitrogen fertilization

Torta de filtro e cinza de carvão: resíduos agro-industriais com potencial de fertilização biológica nitrogenada

Sandra Patricia Montenegro Gómez¹, Milton Cesar Ararat² & Jhon Fredy Betancur³

¹Licenciada en Biología y Química. Especialista en manejo y conservación de suelos y aguas. Magíster en ciencias agrarias, énfasis suelos. Ph. D. en Ciencias, área de concentración Microbiología Agrícola. ²Ingeniero Agrónomo. Magíster en ciencias agrarias, énfasis suelos. Ph. D. en Ciencias Agrarias, énfasis suelos. ³Ingeniero Agrónomo. Especialista en Biología Molecular y Biotecnología. Ph. D. en Ciencias Agrarias, énfasis fitomejoramiento.

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

²Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia-Sede Palmira ³Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Manizales.

¹sandrapmontenegro@gmail.com, ²mcararato@unal.edu.co, ³jbetancur@unimanizales.edu.co

Resumen

Fue evaluada la presencia de bacterias fijadoras de nitrógeno (diazotróficas) en tres mezclas de residuos con proporciones diferentes de compost de cachaza, arena y carbonilla; proporciones iguales de cascarilla de arroz y bagazo de caña: M1 (40, 10, 10, 20, 20 respectivamente), M2 (20, 0, 40, 20, 20 respectivamente), M3 (10, 40, 10, 20, 20 respectivamente). La evaluación se basó en la presencia del gen *nifH*, característico exclusivamente en bacterias diazotróficas. Se utilizó como control positivo muestras de ADN de bacterias del género *Azotobacter spp*. Las mezclas con mayor contenido de cachaza y carbonilla M1 y M2, amplificaron para el gen *nifH*. Las bandas más fuertes se observan en M1 con mayor contenido de compost de cachaza. En contraste la mezcla M3, conformada principalmente por arena y cantidad muy inferior de residuos orgánicos no amplificó; sugiriendo que los contenidos de materia orgáni-

ca, son relevantes para la presencia de bacterias diazotróficas y potencial estimulante de fijación biológica de nitrógeno.

Palabras clave: residuos orgánicos, biofertilización, fijación biológica de nitrógeno, bacterias diazotróficas, gen *nifH*

Abstract

It was evaluated the presence of nitrogen fixing bacteria (diazotrophic) in three mixtures with different proportions of waste filter cake, sand and coal ash; equal proportions of rice husks and sugar cane bagasse M1 (40, 10, 10, 20, 20 respectively), M2 (20, 0, 40, 20, 20 respectively) M3 (10, 40, 10, 20, 20 respectively) . The evaluation was based on the presence of the gene *nifH* characteristic exclusively diazotrophic bacteria. Positive DNA samples of bacteria of the genus

Azotobacter spp. was used as control. The mixtures more content filter cake and coal ash- M1 and M2, amplified or *nifH* gene. The strongest bands are observed in M1 with a higher content of filter cake. In contrast, the M3 mixture, consisting mainly of sand and much lower amount of organic waste not amplified; suggesting how the contents of organic matter are relevant to the presence of bacteria diazotrophic, and exciting potential of biological nitrogen fixation.

Key-words: organic wastes, biofertilization, biological nitrogen fixation, diazotrophic bacteria, *nifH* gene.

Resumo

Foi avaliada a presença de bactérias fixadoras de nitrogênio (diazotróficas) em três misturas de resíduos com diferentes proporções de torta de filtro, areia e cinza de carvão; proporções iguais de casca de arroz e bagaço de cana: M1 (40, 10,

10, 20, 20, respectivamente), M2 (20, 0, 40, 20, 20, respectivamente) M3 (10, 40, 10, 20, 20, respectivamente). A avaliação baseou-se na presença do gene *nifH* característico exclusivamente em bactérias diazotróficas. Foi utilizado um controle positivo de ADN de bactérias do gênero *Azotobacter spp.* As misturas com maior conteúdo de torta de filtro e cinza de carvão- M1 e M2, amplificou para o gene *nifH*. As bandas mais fortes são observadas em M1 com maior teor de torta de filtro. Em contraste, a mistura M3, constituída principalmente de areia e em muito menor quantidade de resíduos orgânicos não amplificou; sugerindo que os conteúdos de matéria orgânica, são relevantes para a presença de bactérias diazotróficas e potencializam a fixação biológica de nitrogênio.

Palavras-chave: resíduos orgânicos, biofertilizantes, fixação biológica de nitrogênio, bactérias diazotróficas, gene *nifH*

Introducción

Por su contenido de humus, los biofertilizantes a partir de compostaje, son de gran utilidad en el acondicionamiento físico-químico del suelo, ligándose a sus partículas y contribuyendo principalmente en la retención de nutrientes y la aíreación del mismo. No obstante, la dificultad de comercialización es un obstáculo, debido a que las concentraciones de nutrientes esenciales para las plantas, especialmente fósforo y nitrógeno son bajas (Ranco & Urgel, 2001). Por su parte, la comunidad agricultora aún no se concientiza de que el nitrógeno (N) adicionado a través de compost o cualquier fuente de materia orgánica, tiene poca influencia sobre la cantidad de nitrógeno en el suelo. Esta depende de la vida del suelo y su fijación por bacterias diazotróficas (Primavesi, 2009). Es así como el aporte nutricional no debe ser la característica fundamental del compost; sin embargo los microorganismos habitantes del mismo

necesitan contenidos mínimos nutricionales para su desarrollo funcional (Primavesi, 2003). Bacterias heterótrofas se alimentan del Carbono de la materia orgánica para producción energética y usan rápidamente el N disponible para suplir sus necesidades de crecimiento, convirtiéndolo en un nutriente de difícil disponibilidad para las plantas (Sideman, 2007). Razón por la cual es de vital importancia estimular el crecimiento y actividad de bacterias diazotróficas y con ello promover la obtención de N necesario para el crecimiento de los cultivos. A este grupo microbiano pertenecen bacterias que fijan el N atmosférico y lo hacen asimilable a través de su reducción a forma amoniacal; cualidad atribuida a la actividad enzimática de la nitrogenasa, esta enzima utiliza por lo menos 16 moléculas de MgATP, por cada molécula de N₂ reducida ó dos MgATP por electrón, tal como es representado en la ecuación (1) (Burgman, 2000).

Nitrogenasa



La estructura, biosíntesis y regulación de la nitrogenasa, son determinadas por los genes *nif*, que son encontrados en todos los diazotróficos (de vida libre, asociativos y simbóticos). Los genes *nifHDK* son los responsables por codificar las

proteínas estructurales del complejo enzimático, exemplificado en la figura 1, en la bacteria *Klebsiella Pneumoniae*, en cuyo genoma fueron identificados por primera vez genes asociados a la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

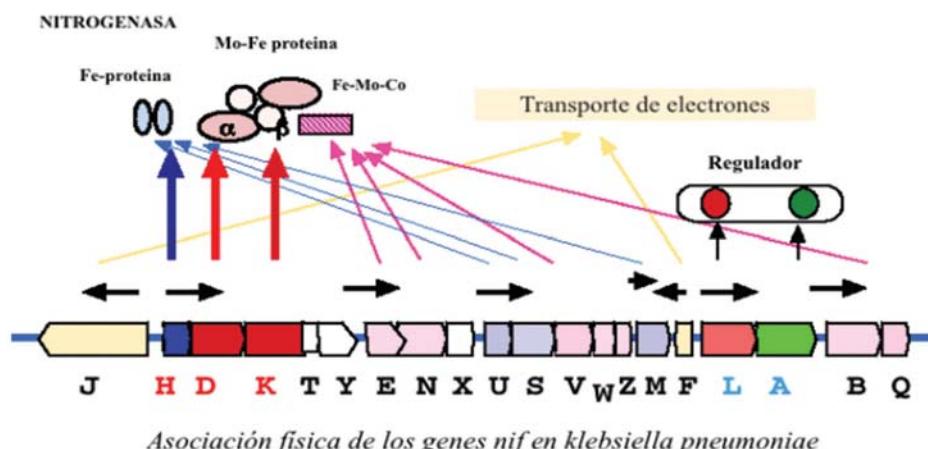


Figura 1. Organización de los genes *nif* en *klebsiellapnuomoniae* y sus funciones

Fuente: Adaptado de <http://www.asahi-net.or.jp/~it6i-wtnb/BNF.html>

Diversos relatos de los beneficios de bacterias diazotróficas abren la posibilidad, para optimización de inóculos en diferentes cultivos. Por ejemplo se ha encontrado que diazotróficas no simbóticas sustituyen 60% de las necesidades de N en caña de azúcar, aproximadamente 200 kg de N/ha (Urquiaga *et al.*, 1992). Cassettari (2014), en casa de vegetación, encontró una aproximación a estos resultados, en plántulas de caña de azúcar, en esta investigación se realizó inmovilización de células bacterianas en microesferas de alginato y posterior inoculación en el suelo, los resultados mostraron incremento significativo de masa seca en la parte aérea, raíces y concentración de N en fases tardías de desarrollo de la planta, cuando fue aplicado hasta el 50% de la fertilización nitrogenada recomendada para este cultivo.

Residuos de cachaza y carbonilla, son usados como biofertilizante, con resultados exitosos en diferentes cultivos. El objetivo del presente estudio fue evaluar la presencia de bacterias diazotróficas detectadas por genes *nifH* en este tipo de residuos mezclados entre sí y con adición de arena, cascarilla de arroz y bagazo de caña.

Materiales y métodos

Implementación del experimento

En el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira (CEUNP), Valla del Cauca, Colombia. Se establecieron tres mezclas de residuos en diferentes proporciones tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Mezclas de sustratos para detección de la presencia del gen *nifH*.

Mezclas	Proporción (g)					
	Compost cachaza	Arena	Carbonilla	Cascarilla de Arroz	Bagazo de Caña	Suelo (Inceptisol)
M1	40	10	10	20	20	0
M2	20	0	40	20	20	0
M3	10	40	10	20	20	0
Testigo	0	20	0	20	20	40

Fuente: Ararat (2013)

Los sustratos a evaluar y las mezclas establecidas se seleccionaron con el criterio de aporte de nutrientes y condiciones de mejoramiento en las propiedades físicas del suelo; por su parte el compost de cachaza es un residuo de la industria de caña de azúcar, empleado como enmienda húmica y la carbonilla es un residuo de caldera de las fábricas de ingenios azucareros, empleado como mejorador de la porosidad y el drenaje. Estos residuos se mezclaron en proporciones diferentes con arena y se les adicionó cascarilla de arroz y bagazo de caña en igual cantidad a todas las mezclas, con la finalidad de favorecer la aireación (Ararat, 2013).

Extracción de ADN

El DNA total fue extraído de 0.25 g de cada muestra, utilizándose el kit Power Soil DNA MoBio (MoBioLaboratories, Carlsbad, CA), de acuerdo con las instrucciones del fabricante. La integridad del DNA fue determinada por electroforesis en gel de agarosa 1% en Tampón TAE 1x (Tris, Ácido Acético e EDTA), después coloreado con bromuro de etidio y posterior visualización en luz ultravioleta.

PCR para amplificación del gen *nifH*

La amplificación del gen dinitrogenasreductasa (*nifH*), se hizo de acuerdo a lo reportado por Rösch *et al.* (2002), donde se emplearon los iniciadores *nifH*-F AAA GGY GGW ATC GGY AAR TCC ACC AC y *nifH*-R TTG TTS GCS GCR TAC

ATS GCC ATC AT. La reacción de PCR se realizó con el kit GoTaq® Green Master Mix(Promega), adicionando 1.0 µM cada iniciador, 50ng de ADN. Las condiciones de termociclaje que se llevaron a cabo fueron tomadas de acuerdo a lo reportado por Rösch *et al.* (2002) con algunas modificaciones. 94 °C por 3 min, 34 ciclos de 94 °C por 45 segundos, 55 °C por 45 segundos y 72 °C por 1 min; con una extensión final de 5 min a 72 °C, el equipo usado para la amplificación fue un termociclador PTC100 (BioRad). Se utilizaron como control positivo muestras de ADN de la bacteria diazotrófica del genero *Azotobacter spp.* y como control negativo se utilizó la mezcla de reacción sin ADN. Los productos de PCR fueron analizados por electroforesis en gel de agarosa 1.0%, donde se verificó la amplificación del fragmento de ADN de 0.3 kb, concordante con el control positivo.

Resultados y discusión

Las mezclas M1 y M2, amplificaron para el gen *nifH*, (Figura 2), indicando la presencia de bacterias diazotróficas Las bandas más fuertes se observan en M1 con mayor contenido de compost de cachaza. Este residuo se caracteriza por altos contenidos de Carbono (C) y contenido de humedad superior al 60%. En la presente investigación el contenido de C de cachaza y carbonilla de las mezclas podría considerarse el factor de mayor influencia para amplificación de *nifH*, esto lo refleja el contraste con M3, donde la proporción de estos

residuos fue muy inferior (Tabla 1) y no se percibió la presencia de diazotróficos. Algunos estudios han demostrado que la variación en disponibilidad de C, está relacionada con la colonización de comunidades diazotróficas (Nelson & Mele, 2006;

Hsu & Buckley, 2009; Tenget *et al.*, 2009; Lindsay *et al.*, 2010). En este caso es importante llevar a consideración el dominio de diazotróficos heterótrofos y su dependencia de la materia orgánica (Vitousek *et al.*, 2000).

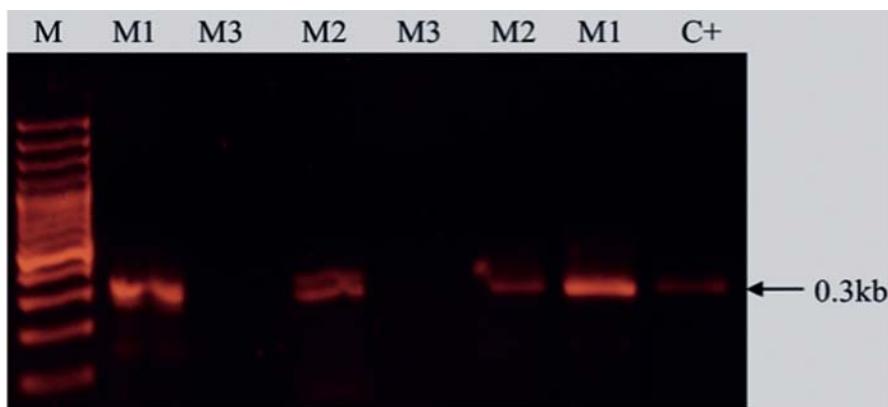


Figura 2. Amplificación del gen *nifH* en tres mezclas conformadas por compost de cachaza, arena, carbonilla, cascarilla de arroz y bagazo de caña. **M1:** 40-10-10-20-20. **M2:** 20-0-40-20-20. **M3:** 10-40-10-20-20, respectivamente. **M:** Marcador de Peso molecular. **C+:** Control positivo, *Azotobacter spp.*

Residuos compostados con altos contenidos de N inhiben la FBN. Por su parte sustancias orgánicas con amplia relación C/N, por ejemplo la paja de gramíneas, promueven esta dinámica, lo cual indica que en un compost, más que la riqueza de sus nutrientes, debe garantizarse la manutención en la nutrición microbiana (Primatesi, 1965; Glathe 1966). Un ejemplo según lo descrito por Hedin *et al.* (2009) se presentó en

hojarasca en avanzado estado de descomposición donde altas relaciones C/N aumentaron la demanda de N y aumento de la FBN (Reed *et al.*, 2007). La relación C/N de los residuos aquí estudiados, presentó 18.48 y 12.4 para compost de cachaza y carbonilla respectivamente (Tabla 2), sugiriendo almacenamiento de C y potencialidad promotora de FBN, principalmente el compost de cachaza.

Tabla 2. Composición carbonada y nitrogenada en compost de cachaza y carbonilla.

Determinación%Sustrato	M. O	C	N-Total	C/N
Compost de cachaza	30. 61	17.75	0.96	18.48
Carbonilla	4.28	2.48	0.20	12.4

Fuente: Ararat (2013)

Estudios indican que además del C y N, existe un conjunto de posibles controles sobre la FBN (por ejemplo, P, Mo, O₂, Humedad, Temperatura). En este estudio los residuos presentaron 9.61 y 1.66

mg/kg de P en Carbonilla y compost de cachaza respectivamente, estos resultados sugieren que la presencia de bacterias diazotróficas no estuvo asociada a mayores contenidos de P en el sustrato.

Por su parte, la humedad también puede regular y aumentar la FBN (Roskoski, 1980; Chapin *et al.*, 1991; Hofmockel & Schlesinger 2007; Reed *et al.*, 2007a), esta condición puede haber influenciado la presencia de diazotróficos en el compost de cachaza, caracterizado por presentar contenidos de humedad entre 60% y 70%. En lo que respecta al Oxígeno es de suma importancia y se recomienda que cualquier material orgánico debe ser aplicado en forma superficial para mantener el sistema aerobio y promover la FBN durante el proceso de descomposición aerobia (Primavesi, 2009). Trabajos recientes sugieren que modelos conceptuales que integran múltiples controles en una estequiométrica perspectiva, pueden ofrecer una mejor visión de la FBN (Reed *et al.*; 2011).

Avanzar hacia el conocimiento sobre potencialización de bacterias diazotróficas e interacción con diversos cultivos, es tema de investigación a nivel mundial; debido al potencial biotecnológico evidenciado en el aumento de la productividad agrícola, posibilidad de reducción de costos de producción por disminución en el uso de abonos nitrogenados y consecuentemente conservación de los recursos ambientales (Moreira *et al.*, 2010).

Conclusiones

Residuos constituidos por compost de cachaza y Carbonilla (M1, M2) amplificaron para el gen *nifH*, indicando la presencia de bacterias diazotróficas. El compost de cachaza mostró amplificación más fuerte. En contraste la mezcla M3, con cantidad muy inferior de estos residuos no amplificó. Los resultados obtenidos sugieren, que contenidos de materia orgánica deben ser considerados para promover la presencia de bacterias diazotróficas.

A pesar de la relevancia de los resultados, este tipo de estudios debe ser complementado con análisis funcionales de los genes *nif*, ya que la FBN responde a la actividad de la nitrogenasa, la cual por su condición enzimática es sensible a diversos factores bióticos o abióticos de inhibición o activación.

Agradecimientos

Los autores agradecen a: Corporación BIOTEC, vive-ro PROFRUTALES LTDA., Dr. Juan Carlos Menjivar Flores (Docente Universidad Nacional de Colombia).

Referencias

1. Ararat, M. C. (2013) Influencia de la nutrición mineral y la actividad biológica rizosférica en la disminución del daño ocasionado por *Phytophthora cinnamomi* Rands en plántulas de Aguacate (*Persea americana* Mill). (Tesis de Doctorado) Universidad Nacional de Colombia.
2. Bürgmann, H. (2003). Activity and diversity of nitrogen-fixing microorganisms: novel tools to characterize populations in soil.. Dissertation (Doctor in Science) - Swiss Federal Institut of Technology Zurich, Zurich.
3. Cassettari, A. (2014). Fixação biológica de nitrogênio em cana-de-açúcar inoculada com bactérias diazotróficas. (Tesis de Doctorado en Suelos y nutrición de plantas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, Brasil.
4. Chapin FS, Bliss LC. & Bledsoe LJ. (1991). Environmental regulation of nitrogen fixation in a high arctic lowland ecosystem. *Can. J. Bot.* 69:2744–55.
5. Glathe, H & Glathe, G. (1996). Bedeutung der mikroorganismen für die nährstoffumsetzung im boden In: Sharrer-Linser, handbuch der pflanzenernährung und düngung. New York: Springer Wien. p.626-642.
6. Hedin, L.O; Brookshire, E.N.J.; Menge, D.N.L. & Barron, A.R. (2009). The nitrogen paradox in tropical forest ecosystems. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics, New Yorkv. 40, p. 613–635.
7. Hofmockel KS, & Schlesinger WH. (2007). Carbon dioxide effects on heterotrophic dinitrogen fixation in a temperate pine forest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71:140–44.
8. Hsu, S.F. & Buckley, D.H. (2009). Evidence for the functional significance of diazotroph community structure in soil. The ISME Journal, New York, v. 3, p. 124–136.
9. Lindsay, E.A.; Colloff, M.J.; Gibb, N.L. & Wakelin, S.A. (2010). The abundance of microbial functional genes in grassy woodlands is influenced more by soil nutrient enrichment than by recent weed invasion or livestock exclusion. *Applied and Environmental Microbiology, Washington*, v.76, p. 5547–5555.
10. Moreira, F.M.; Da Silva, K.; Nóbrega, R.S. & Carvalho, F. (2010). Bactérias diazotróficas associativas: diversidade, ecologia e potencial de aplicações. Comunicata Scien-tiae, Piuáí, v. 1, n. 2, p. 74-99.
11. Nelson, D.R. & Mele P.M. (2006). The impact of crop residues and lime on microbial community structure and nitrogen-fixing bacteria in the wheat rhizosphere. *Soil Research, Crawley*, v.44, p. 319–329.
12. Primavesi, A. (1965). Microbiología do solo. Santa Maria: Palotti.

- 13.** Primavesi, A. (2003). Revisão Do Conceito De Agricultura Orgânica : Conservação Do Solo E Seu Efeito Sobre a Água. *Biológico, São Paulo*, v.65, n.1/2, p.69-73, Jan./dez., 2003, 65, p. 69–73.
- 14.** Primavesi, A. (2009). Cartilha do solo Como reconhecer e sanar seus problemas, 71.
- 15.** Ranco, S. A. M. U. B., & Urgel, P. A. H. E. M. (2001). Artigo técnico compostagem : solubilização biológica da rocha fosfática na produção de fertilizante orgânomineral, 6, p. 115–122.
- 16.** Reed, S.C.; Cleveland, C.C. & Townsend, A.R. (2007a). Controlsoverleaflitter and soilnitrogenfixation in two lowland tropical rain forests. *Biotropica*, Malden, v. 39, p. 585–592.
- 17.** Reed, S.C; Cleveland, C.C. & Townsend, A.R. (2011). FunctionalEcology of Free-Living NitrogenFixation: A ContemporaryPerspective. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, New York, v. 42, p. 489-512.
- 18.** Rösch, C., Mergel, A., and Bothe, H. (2002). Biodiversity of denitrifying and dinitrogen-fixing bacteria in an acid forest soil. *Appl. Environ. Microbiol.* 68, p. 3818-3829
- 19.** Roskoski JP. 1980. Nitrogenfixation in hardwoodforests of thenortheasternUnitedStates. *PlantSoil* 54. p. 3–44
- 20.** Sideman, E. (2007). Providing Nitrogen to Organic Crops. *MOFGA Fact Sheet*, 8, p. 8–10.
- 21.** Teng Q.H; Sun B.; Fu XR; LI SP; Cui Z.L.; Cao H. (2009). Analysis of *nifH*gene diversity in red soilamendedwithmanure in Jiangxi, south China. *J. Microbiol. Nanjing*, v.47 p. 135–141.
- 22.** Urquiaga, S.; Cruz, K. H. S.; Boddey, R. M. (1992). Contribution of nitrogenfixationtosugarcane nitrogen-15 and nitrogen balance estimates. *Soil Science Society American Journal*, v.56, n. 1, p. 105-114.
- 23.** Vitousek, V.; Hobbie, S. (2000) Heterotrophicnitrogen-fixation in decomposinglitter: patterns and regulation. *Ecology*, Davis, v. 81, p. 2366-2376.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 15 de julio de 2014
 Aceptado: 20 de agosto de 2014

Morfología de *Passiflora*: una guía para la descripción de sus especies

Passiflora morphology: a guide for the description of species

Morfologia da Passiflora: Uma Guia para a descrição de espécies

Miguel Macgayver Bonilla Morales¹, Adriana Carolina Aguirre Morales², Oscar Manuel Agudelo Varela³

¹Licenciado en Producción Agropecuaria, Magister en Ciencias Biológicas con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales. ²Ingeniera Agrónoma, Candidata a Magister en Ciencias Biológicas con énfasis en Recursos Fitogenéticos Neotropicales. ³Ingeniero de Sistemas, Especialista en Construcción de Software para redes, Magister en Ciencias de la Información y la Comunicación

^{1,2}Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Colombia. ³Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas. Universidad de los Llanos Sede Barcelona. Puerto López. Colombia.

¹mmbonillam@unal.edu.co, ²adcaguirremo@unal.edu.co, ³oscar.agudelo@unillanos.edu.co

Resumen

Las pasifloras son un grupo de plantas que tienen uso desde periodos precolombinos por el sabor de sus frutos, sin embargo, en los últimos siglos se han encontrado compuestos de importancia farmacéutica para la salud humana. Desde esta perspectiva, conocer las especies mediante sus caracteres morfológicos permitirá explorar la variabilidad existente a nivel intra e inter específico, y también definir a futuro su importancia económica por su uso potencial. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación fue definir e ilustrar los caracteres morfológicos más utilizados en *Passiflora* L. para estudios de diversidad, caracterización y taxonomía en Colombia. De esta manera, se establecieron los ítems de hábito, raíz, tallo, estípula, hoja, flor, inflorescencia, fruto y semilla con sus respectivas descripciones que relacionan la taxonomía actual de *Passiflora*. Adicional, se añadió un componente de polinización que determinó las principales relaciones florísticas y polinizadores como insectos, aves y mamíferos. Se concluye

que el entendimiento de las estructuras morfológicas en *Passiflora* servirá de guía para trabajos de caracterización de germoplasma y revisiones taxonómicas como eje para describir nuevas especies.

Palabras clave: descriptor, diversidad, Passifloraceae, taxonomía.

Abstract

Passiflora are a group of plants that have use from pre-columbian periods by the taste of their fruits, however, in the past centuries have been found compounds of pharmaceutical importance for human health. From this perspective, knowing the species by their morphological characters will allow to explore the variability from level intra and inter specific, and also define its economic importance for its potential use in future. Therefore, the objective of this research was to define and illustrate the morphological characters used in *Passiflora* L. for

studies of diversity, characterization and taxonomy in Colombia. In this vein, the habit, root, stem, stipule, leaf, flower, inflorescence, fruit and seed were defined with their respective descriptions that relate the current taxonomy of *Passiflora*. Furthermore a component of pollination was added that determined the major floristic relations and pollinators such as insects, birds and mammals. It was concluded that the understanding of morphological structures in *Passiflora* will guide work of characterization of germplasm and taxonomic revisions as an axis to describe new species.

Key-words: descriptor, diversity, *Passifloraceae*, taxonomy.

Resumo

Passiflora are a group of plants that have been used from pre-columbian periods by the taste of their fruits, however, in the past centuries have been found compounds of pharmaceutical importance for human health. A partir desta perspectiva,

conhecendo as espécies por caracteres morfológicos, permitirá explorar a variabilidade intra e interespecífica, e definir o futuro da sua importância económica devido ao seu uso potencial. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi definir e ilustrar os caracteres morfológicos comumente usados em *Passiflora* L. para estudos de diversidade, caracterização e taxonomia na Colômbia. Assim, foram estabelecidos, os itens de hábito, raiz, caule, stipule, folha, flor, inflorescência, fruto e semente com as descrições que se relacionam com a taxonomia atual de *Passiflora*. Além disso, acrescentou um componente de polinização, que identificou as principais relações florística e polinizadores, como insetos, aves e mamíferos. Concluiu-se que a compreensão das estruturas morfológicas *Passiflora*, proporcionará orientações para trabalhar caracterização de germoplasma e revisões taxonómicas, como o eixo, para descrever novas espécies.

Palavras-chave: descritor, diversidade, *Passifloraceae*, taxonomia.

Introducción

Las *Pasifloras* han sido utilizadas y cultivadas para el consumo de fruta fresca, no obstante, el potencial uso que presentan algunas especies por compuestos químicos de interés industrial ha ampliado la brecha comercial para su explotación (Coppens, 2001a, b; Bonilla, 2014). De esta manera, la extracción de algunos compuestos poseen efectos medicinales asociado a componentes sedativos, antianiedad y antioxidantes, y otros son comercializados desde la industria cosmética (Costa & Cavalcante, 2010; Sandoval et al., 2010). Generalmente, las pasifloras tienen una ornamentación particular en la disposición de su corola y corona como el color de sus flores, por lo que son utilizadas para la decoración de jardines (Coppens, 2003; Bugallo et al., 2011; Bonilla & Aguirre, 2015).

Actualmente, la familia *Passifloraceae* Juss. ex Rousel posee entre 17 a 25 géneros, dentro de

los cuales *Passiflora* L. resulta ser el más numeroso e importante económico (Simpson, 2010; Ocampo, Coppens & Jarvis, 2010). El género *Passiflora* agrupa aproximadamente 575 especies, sin embargo, la cifra sigue creciendo en las últimas décadas (Jørgensen & Vasquez, 2009; Jørgensen, Muchala & MacDougal, 2012). Por lo tanto, los caracteres morfológicos resultan indispensables tanto para el conocimiento de las especies del grupo como para establecer tratamientos taxonómicos que faciliten conocer la identificación de sus especies (Ulmer & MacDougal, 2004; Krosnick, Ford & Freudenstein. 2009). Desde esta perspectiva, en las últimas décadas se han utilizado para determinar la variabilidad genética como especies nuevas para la ciencia (Kuethe, 2011a, b; Vanderplank & Zappi, 2011; Imig & Cervi, 2014; Sacramento & Paganucci, 2014; Esquerre, 2015).

Por otro lado, la caracterización de germoplasma de especies silvestres y cultivadas requiere del conocimiento de caracteres morfológicos, motivo, por el cual la base de su homogeneidad y variabilidad se determinan por los caracteres cualitativos y cuantitativos que se evalúan (Hernández & Bernal, 2000; Hernández & García, 2006; Checa, Rosero & Eraso, 2011; Aguirre & Giraldo, 2014). Por esta razón, la presente investigación tuvo como objetivo establecer una guía de los caracteres morfológicos más utilizados en taxonomía y evaluación de germoplasma, mediante la recopilación y análisis de información de literatura científica, especímenes de herbario y salidas de campo, que permitieron establecer la base para el diseño y estructuración de los ítems necesarios al momento de trabajar con este taxón.

Hábito

Las especies del género *Passiflora* son generalmente enredaderas leñosas, escandentes, con zarcillos axilares, raramente lianas, arbustos o pequeños árboles (Killip, 1938; Ocampo, 2007). Las especies arbóreas (Figura 1) se encuentran dentro del subgénero *Astrophea* (DC) Mast. representadas principalmente por *Passiflora arborea* Spreng., *P. emarginata* Bonpl., *P. lindeniana* Planch. ex Triana & Planch. y *P. sphaerocarpa* Triana & Planch., pequeños arbustos y lianas también son encontrados en este grupo (Escobar, 1994 inéd.; Hilgenhof, 2012; Aguirre, Caetano & Bonilla, 2015).



Figura 1. *Passiflora* Subg. *Astrophea* de hábito arborescente (*Passiflora macrophylla* Spruce ex Mast.).

Las especies de *Passiflora* son esencialmente enredaderas leñosas, perennes, que trepan árboles y vegetación aledaña mediante los zarcillos

(Figura 2). Dentro de estas, las especies de la supersección *Tacsonia* (Juss.) Feuillet & MacDougal se caracterizan por ser enredaderas perennes, con flores de hipantio alargado y corona reducida (Escobar, 1988a, b).



Figura 2. Enredaderas con zarcillos del subgénero *Passiflora* supersección *Tacsonia*.
A) *P. antioquiensis* H. Karst. y b) *P. adulterina* L. f.).

Raíz

La morfología de las raíces de *Passiflora* ha sido escasamente estudiada, pues la mayoría de los estudios que involucran el sistema radicular están enfocados a comprender su relación con los patógenos del suelo, para las pocas especies cultivadas. Sin embargo, Masters (1871) en su monografía menciona que las raíces son fibras uniformes para toda la familia Passifloraceae, por lo que ofrecen poca información al respecto. Hoy se sabe que a mayor edad de la planta, las raíces primarias y secundarias son más gruesas y lignificadas, y sólo se conocen dos especies que poseen una raíz principal: *P. exsudans* Zucc. y *P. karwinskii* Mast. (Ulmer & MacDougal, 2004). Adicionalmente, se puede determinar que las raíces de algunas especies de la supersec. *Tacsonia* presentan un crecimiento alorrico con una raíz primaria no tan gruesa al igual que la secundaria y pelos radiculares (Figura 3).



Figura 3. Raíz de *Passiflora* supersección *Tacsonia* (*P. cumbalensis* Harms).

Tallo

El tipo de tallo se encuentra estrechamente relacionado con el hábito de crecimiento de la planta (Figura 4), que, para *Passiflora* se cataloga entre enredadera, liana escandente, arbusto y árbol. Las enredaderas poseen un tallo delgado, poco

leñoso, con zarcillos que le sirven para trepar y anillos concéntricos que aparecen cada año y sirven para contabilizar la edad de la planta (Ulmer & MacDougal, 2004). Pocas especies son árboles con madera normal o lianas, generalmente más significadas y de mayor grosor que las enredaderas (subg. *Astrophea*).

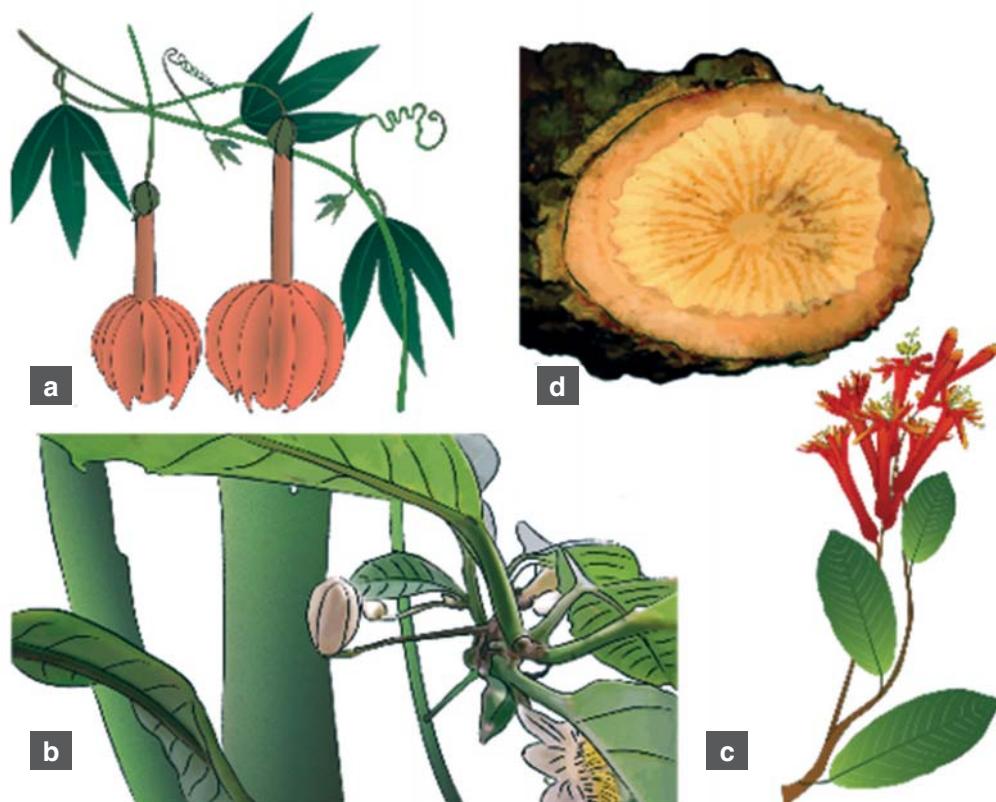


Figura 4. Tipos de tallo según el hábito de crecimiento. a) Enredadera [*P. parritae* (Mast.) L. H. Baley]; b) Árbol (*P. lindeniana* Planch. ex Triana & Planch.); c) Liana [*P. spinosa* (Poepp. & Endl.) Mast.]; d) corte transversal *Passiflora* sp.

De manera general, el tallo de *Passiflora* da soporte a la planta y es el encargado de la reserva de agua, en cuanto a su forma puede ser tere, levemente angulado o surcado, algunos son alados o planos, similares a una cinta, también pueden ser ligeramente estriados, carácter que se acrecienta al secarse (Ulmer & MacDougal, 2004). Según MacDougal 1994, el tallo presenta una característica de importancia ecológica y taxonómica en cuanto a la posición del ápice en relación al eje principal del brote (Figura 5). El brote del ápice puede presentar un comportamiento

cernoso (geotropismo positivo), reportado sólo en parte del subgénero *Decaloba* (DC.) Rchb. [supersección *Pterosperma* Gilbert & MacDougal, *Hahniopathanthus* (Harms) Feulleit & MacDougal y *Decaloba*], parte del subgénero *Astrophea* (excepto la sección *Astrophea*), parte de la supersección *Tacsonia* (sección *Rathea* (Karts.) Harms, parte de la sección *Colombiana* L. K. Escobar que incluye la serie *Leptomischae* L. K. Escobar, parte de la Sección *Elkeae* Feulleit & MacDougal) y ocasionalmente en *P. setacea* DC (Escobar, 1985, 1986, 1987; Ulmer & MacDougal, 2004).



Figura 5. Ápice de *Passiflora coactilis* (Mast.) Killip (a) y *P. quadrangularis* L. (b).

Nudo

En *Passiflora* los nudos se reconocen por ser el punto de unión del tallo y la hoja, y el lugar donde se agrupan diversas estructuras de importancia taxonómica y ecológica para la planta. Las ramas presentan nudos (Figura 6) y en cada uno hay, por lo general, siete estructuras: una hoja, dos yemas florales, una yema vegetativa, un zarcillo y dos estípulas que protegen las demás estructuras (Rivera *et al.*, 2002).

Zarcillo

Las especies del género *Passiflora* se caracterizan por ser capreoladas (excepto algunas del subg. *Astrophea*). Por definición, los zarcillos son conocidos como cualquier órgano filamentoso y haptotrópico que la planta utiliza exclusivamente para trepar (Font Quer, 2001). En *Passiflora* los zarcillos se reconocen como estructuras de soporte que ayudan a las plantas a trepar sobre los árboles, vegetación o muros en busca de la luz solar. Cuando el ápice del zarcillo se ha sujetado al soporte, reducen su longitud al enrollarse en forma de hélice, presentando un cambio de dirección para mantener el tallo cerca al soporte (Tillett, 1988).



Figura 6. Nudo en *Passiflora auriculata* Kunth (a),
P. ligularis Juss. (b) y *P. subg. Decaloba* (c)

Normalmente son solitarios, con disposición axilar y no ramificados, se caracterizan por ser una estructura fuerte que se enrolla en forma de hélice (Cervi, 1997; Cervi & Linsigen, 2010). Estos pueden ser deciduos y en algunas especies se desarrollan a partir de la bifurcación del pedúnculo o pocas veces se transforman en espinas (Uribe, 1972; Killip, 1938). Las especies arbóreas del subgénero *Astrophea* carecen de zarcillo mientras que en algunos arbustos escandentes es deciduo, convirtiéndose en espina (Escobar, 1994, inéd.).

Estípula

Todas las especies de la familia Passifloraceae presentan estípulas, estas son estructuras generalmente pareadas, laminares y libres que surgen en la base foliar (Imig, 2013). Poseen formas y tamaños variables (Figura 7): pueden ser deciduas, como en el subgénero *Astrophea*, setáceas o falcadas como en *Decaloba*, lanceolada, como en muchas especies de la supersección

Laurifolia (Cervi) Feulleit & MacDougal, largas y similares a una hoja como en la supersección *Hahniopathanthus* (Harms) Feulleit & MacDougal, filiformes o lanceoladas como en la Sección *Columbiana*, sub reniforme u ovadas y aserradas a laceradas como en la sección *Elkea*, y, además, pueden presentar márgenes aserradas, dentadas o glandulares, o estar dividida en múltiples segmentos como ocurre en *P. pinnatistipula* Cav. (Ulmer & MacDougal, 2004).



Figura 7. Estípulas en el género *Passiflora*.

Hoja

Lámina foliar

En *Passiflora* la disposición de las hojas, y del nudo en general, es siempre alterna. El género posee una lámina foliar bien desarrollada, la cual puede ser de textura membranácea a coriácea y variar ampliamente en cuanto a longitud, encontrándose especies de 0.5 cm hasta 1 m (eg. *P. macrophylla*). La lámina generalmente es lobulada, siendo las más comunes: simples o unilobulada (*P. tenerifensis* L. K. Escobar), 2-lobulada (*P. gilbertiana* J. M. MacDougal), 3-lobulada [*P. manicata* (Juss.) Pers.], 5-lobulada (*P. caerulea* L.) o escasamente 9-lobulada, mientras que, pocas especies presentan hojas compuestas: *P. deidamiae* Harms, *P. cirrhiflora* Juss., *P. pedata* L. y *P. trifoliata* Cav. (Ulmer & MacDougal, 2004).

Las *Passiflora* lobuladas presentan una base generalmente cordada o a menudo puede ser truncada, redonda o cuneada, mientras que la venación es habitualmente palmada presentando de 3-5 venas principales (Masters, 1871). Independientemente de la forma (redonda, elíptica, oblonga, ovalada) el margen de la hoja puede ser aserrado, aserrado-lobulado, dentado, denticulado o entero, exhibiendo, en algunos casos, un margen glandular (Imig, 2013).

En la supersección *Tacsonia* se ha encontrado que una misma planta puede presentar hojas enteras y lobuladas (2-lobulada o 3-lobulada), este fenómeno es conocido como polimorfismo foliar (Figura 8); además, en muchas especies, la forma de la hoja en plantas jóvenes difiere de su forma cuando está madura, evento conocido como heteroblastia (Escobar, 1988a, b, 1989).



Figura 8. Polimorfismo foliar en *Passiflora*.

Pecíolo

Los pecíolos son estructuras que unen la lámina foliar al tallo y, aunque algunos son muy cortos, no hay hojas sésiles en *Passiflora* (Tillett, 1988). Estos pueden ser ligeramente aplanados o presentar la cara adaxial surcada (Ulmer & MacDougal, 2004). Además, es posible observar pubescencia corta y glándulas nectaríferas de forma y distribución variable, donde su presencia o ausencia, forma, posición y número constituyen importantes características de diferenciación interespecífica e inter-grupos (Cervi, 1997).

Pubescencia

Las *Passiflora* pueden estar o no cubiertas por algún tipo de indumento característico de la especie o grupo taxonómico (Figura 9). Estos indumentos son conocidos como tricomas y su ausencia o presencia sirven para clasificar las especies de acuerdo a la abundancia de tricomas (glabro, glabrescente, piloso pubescente, densamente pubescente) y su forma (piloso, lanado, crispolanoado, tomentoso) (Ulmer & MacDougal, 2004).

Los tricomas están generalmente compuestos de una célula que emerge de la epidermis de la planta, y en algunas especies presentan función secretora, estos son conocidos como tricomas glandulares (MacDougal, 1994). En *Tacsonia* se ha usado la forma de la pubescencia como característica para determinar el epíteto específico de algunas especies, así, *P. lanata* (Juss.) Poir y *P. crispolanata* L. Uribe deben su nombre a la forma de su pubescencia, lanada y crispolanada, respectivamente (Escobar, 1988a, 1990). La pubescencia puede encontrarse en toda la planta o en diferentes partes de esta, como en hojas, tallos y flores o, en algunas especies, sólo en el ovario

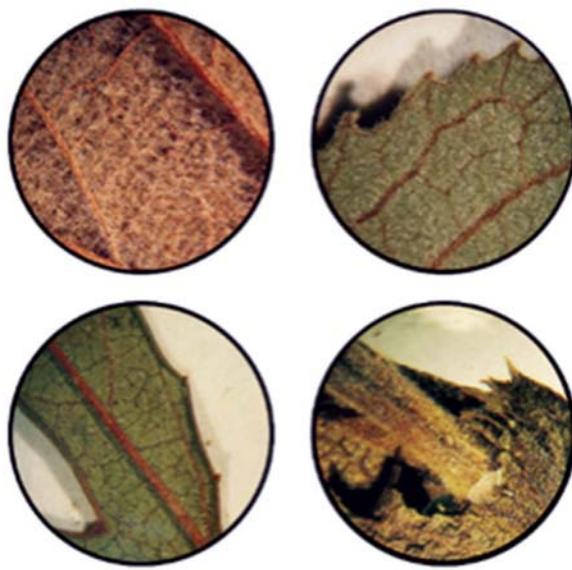


Figura 9. Tipos de pubescencias.

Glándulas

Otra estructura de importancia ecológica, taxonómica y evolutiva en *Passiflora* son las glándulas y/o nectarios extraflorales, los cuales son comunes en el género. Las glándulas se encuentran en la lámina foliar, el pecíolo, las brácteas y las estípulas, principalmente (Tillett, 1988). Los pecíos pueden presentar dos o más nectarios glan-

dulares, frecuentemente en pares opuestos que están presentes en algunas especies y en toda la supersección *Decaloba* (Ulmer & MacDougal, 2004). Estas glándulas asemejan desde cicatrices superficiales hasta glándulas capitadas largamente estipitadas o lígulas de un centímetro de largo (*P. ligularis*).

Cuando las glándulas peciolares están presentes (Figura 10), con frecuencia se pueden encontrar glándulas marginales en la lámina foliar (pequeñas, capitadas y estipitadas), particularmente en los dientes de las aserraduras o en la base de los senos de hojas lobuladas (Tillett, 1988). Por su parte, el Subgénero *Decaloba* presenta sobre la lámina foliar pequeñas y amarillentas glándulas con forma de plato con reborde, llamadas ocelos, las cuales cumplen las mismas funciones que las glándulas peciolares y, como regla general, no están presentes en especies que poseen éstas (Tillett, 1988).

Por otro lado, en algunas especies de la supersección *Tacsonia*, las glándulas que nacen en el margen de la hoja presentan un cambio transicional, convirtiéndose en nectarios peciolares, y, de manera general, la presencia o ausencia, y la forma de los nectarios extraflorales son usados en la identificación de las pasifloras, principalmente cuando están en el pecíolo (Ulmer & MacDougal, 2004). Además de la hoja, los nectarios extraflorales también están presentes en el margen de las estípulas y las brácteas florales. Las glándulas son muy llamativas y por lo general producen una secreción dulce que funciona como atrayente de hormigas, principalmente, las que ayudan a reducir el herbivorismo por parte de las mariposas Heliconidae (Gilbert, 1982). Aparte de producir estas sustancias, las glándulas se desarrollan de tal manera que su forma y color mimetizan huevos de Heliconidae, evitando la oviposición por parte de éstos, sus enemigos naturales.



Figura 10. Glándulas peciolares (a), marginales (b) y ocelos (c) en *Passiflora*.

Inflorescencia

Según Cusset (1968) las especies primitivas de la familia Passifloraceae presentan inflorescencia cimosa sin embargo, las especies americanas del género *Passiflora* normalmente presentan flores individuales o en pares, aunque algunas tienen inflorescencias en cimas, pseudo-racimos y muy escasamente en racimos verdadero (Tillett, 1988). Por tal motivo, se considera que *Passiflora* presenta inflorescen-

cias (Figura 11) ya que las flores se unen al tallo a través de un pedúnculo que está adherido a una estructura de menor longitud llamada pedicelo, la cual sostiene la flor. Ésta puede aparecer desde erecta hasta péndula al extremo de un pedúnculo (pedicelos) de tamaño variable (Masters, 1871), en *Tacsonia*, por ejemplo, las flores aparecen péndulas o declinadas sujetas a un pedúnculo generalmente corto, mientras que en las especies arbóreas aparece una inflorescencia multiflora y cimosa (Killip, 1938).



Figura 11. Inflorescencias en *Passiflora*.

Pedúnculo

Es considerado el pie que soporta la flor solitaria o la inflorescencia (Font Quer, 2001), este, en *Passiflora*, es axilar y puede variar en tamaño y forma, siendo desde muy corto a muy largo (> 60 cm) y delgado o grueso (Tillett, 1988). Además puede encontrarse solitario o en pares en cada

nudo, también puede aparecer ramificado, formando numerosas flores por nudo como ocurre en *P. complanata* J. M. MacDougal, *P. sexflora* Juss. y *P. holosericea* L. (Ulmer & MacDougal, 2004), cabe mencionar que para *Tacsonia* este fenómeno no se ha reportado, ejemplo, tipo de *P. rugosa* var. *venezolana* L. K. Escobar.

Brácteas

Sobre el ápice del pedúnculo se articulan las brácteas, que usualmente se encuentran de a tres, cercanas o alejadas de la flor y que, según Cusset (1968), son derivaciones de brácteas de la inflorescencia primitiva. Su función, cuando son grandes, es proteger el botón floral contra perforaciones en la copa o receptáculo, evitando el robo de néctar (Tillett, 1988).

Estás estructuras son muy variadas en forma, desde pequeñas setas hasta láminas casi foliares, libres o unidas, que llegan a formar una copa alrededor del brote o de la flor (Ulmer & MacDougal, 2004). Debido a sus variaciones, las brácteas fueron consideradas por Harms (1898) y Cusset (1968) como una característica principal en la definición de subgrupos. Actualmente, Ulmer & MacDougal (2004) plantean, como regla general, que cuando la bráctea supera los 0.3 cm de longitud la especie pertenece al Subgénero *Passiflora*. Algunas especies presentan brácteas pinatisectas (tres y cuatro pinatisectas) como en el caso de *P. foetida* L. (Tillett, 1988). Los grupos que tienen brácteas con características específicas están: la sección *Dysosmia* DC., en la que son ampliamente disectadas y a menudo presentan un ápice glandular; la sección *Xerogona* (Raf.) Killip que no las presenta; el subgénero *Astrophea*, en el que son muy pequeñas; en la serie *Tiliifolia* Feullein & MacDougal, donde son muy largas y se encuentran fusionadas en la base, y en la sección *Elkeia* donde son de tamaño medio y están unidas formando una copa (Ulmer & MacDougal, 2004).

Pedicelos

El pedicelo es comúnmente conocido como la estructura que da pie o soporte a la flor de una inflorescencia (Font Quer, 2001). En *Passiflora*, la porción que se encuentra después de la inserción de las brácteas en el pedúnculo se conoce como pedicelos (Tillett, 1988). Sin embargo, algunos autores no reconocen la diferencia y denominan a la estructura completa pedúnculo (Ulmer & MacDou-

gal, 2004). De este modo, es posible hablar de pedúnculo cuando las brácteas se encuentran muy separadas o cuando no se presentan, pues se considera que el pedicelos está ausente (Tillett, 1988).

Flor

En *Passiflora*, la flor por sus variadas formas y colores, la aparición de estructuras complejas como las coronas o el alargamiento del tubo floral, se tornan de interés para estudios morfológicos y ecológicos (Figura 12). El tamaño de las flores puede variar desde 1 cm (*P. multiflora* L. y *P. suberosa* L.) hasta 20 cm (*P. pergrandis* Holm-Niels. & Lawesson y *P. speciosa* Gardner), o en la longitud del tubo floral, como ocurre en *Tacsonia* (Ulmer & MacDougal, 2004). El desarrollo floral es constante, en el sentido de que mientras en la parte más madura de la rama se encuentran frutos o flores abiertas, hacia el ápice se observan flores axilares solitarias o en pares (Tillett, 1988).



Figura 12. Morfología floral.

Copa floral o receptáculo

Para Tillett (1988) la copa floral corresponde a la parte basal de la flor que tiene forma de disco plano, plato con reborde, copa pequeña o urna, umbilikada, que surge del ápice del pedicelos y base del andróginoforo y termina en la inserción del operculo, más no incluye éste.

El receptáculo es, por lo general, ahuecado y sostiene numerosos filamentos entre la corola y los estambres, estructuras que pueden ser de colores brillantes que forman una corona visible, que varía según la especie (Dhawan, Dhawan & Charma, 2004).

Cámara nectarífera

Es una cámara estrecha cuya función está relacionada con el almacenamiento de néctar y que se ubica bajo el opérculo, en la base del tubo floral, sin embargo ésta puede estar ausente, lo que se nota antes del secado (Jørgensen et al., 1984).

Opérculo

La membrana que cubre la cámara nectarífera evita la entrada de agua y la pérdida de néctar al bloquear la entrada de insectos visitantes no polinizadores (Imig, 2013). El opérculo es una estructura membranosa que se encuentra bajo la corona y que puede ser curvado, erecto, recurvado, liso o plicado, con margen entera, dividida, dentada o filamentosa, y que por sus variaciones es considerado un carácter distintivo a nivel de subgénero y especie (Jørgensen et al., 1984; Imig, 2013)

Limen

En cuanto a su estructura, el limen puede asemejarse a la cámara nectarífera o ser una membrana en forma de copa entreabierta que se encuentra en la base del androginóforo (Jørgensen et al., 1984). Por lo general es cupuliforme (rodea el androginóforo sin apretarlo) o anular (menos sobresaliente), y en algunas especies está ausente (Imig, 2013). Es común que el ápice del limen entre en contacto con el opérculo, cerrando el tubo floral y evitando la pérdida de néctar (Ulmer & MacDougal, 2004).

Tubo floral

El tubo floral se encuentra inserto sobre el receptáculo y abarca desde el opérculo hasta el pe-

rianto, con un tamaño que varía según la especie y cuya función es dar sostén a la corona (radii y pali), sin embargo el tubo floral o hipantio puede tener un desarrollo limitado, observándose como un reborde de la copa floral, pero con la misma función (Tillett, 1988). Éste puede ser pateliforme, campanulado, infundibuliforme o cilíndrico, verde, verdoso o colorido, como en la supersección *Tacsonia* (Imig, 2013). De hecho, una de las características que condujo a la agrupación de especies del entonces género *Tacsonia*, además de sus colores rojo y anaranjado, fue la longitud del tubo floral, pues este presenta un notorio alargamiento que lo separa de otras pasifloras (Ulmer & MacDougal, 2004).

Corona

De manera general, la corona está conformada por numerosas extensiones filamentosas, coloridas que se disponen de 1 a 10 series y que poseen formas que varían según la especie: filiforme, liguliforme, dolabriliforme, espesado, tere, angulada, cilíndrico, subulado, tuberculado o tubular (Jørgensen et al., 1984). Además de la forma, el tamaño y la coloración también varían, lo que suma importancia a la caracterización de especies o grupos (Imig, 2013)

La corona es usada por la flor para llamar la atención de sus polinizadores, pues su evidente pigmentación, con frecuencia bandeadas, conduce al polinizador hacia el centro de la flor (Cervi, 1997), en el caso de las abejas. Por su parte, las flores con hipantio tubular y corona floral reducida son de color rojo o anaranjado, lo que atrae a los colibríes polinizadores (Escobar, 1988a). Esto ocurre con la mayoría de las especies de la supersección *Tacsonia*, donde la reducción de la corona floral puede estar dada por su síndrome de polinización, ya que es la corola con sus colores la que atrae a los colibríes polinizadores.

Morfológicamente, la corona corresponde a extensiones o desprendimientos que surgen de los pétalos y los sépalos (Puri, 1948). Según

Ulmer & MacDougal (2004), en 1906 Carl Axel Lindman propone dos términos para referirse a la corona: se habla de *radii* cuando se describen los filamentos externos y sobresalientes, mientras que el término *pali* fue adoptado para referirse a la corona interna, de menor tamaño. Sin embargo, los autores mencionados usan en sus descripciones los términos corona externa (*outer corona*) y corona interna (*inner corona*) para referirse a las series filamentosas de la corona floral.

Sépalos

El cáliz está formado de cinco sépalos que se observan sobrepuertos en el botón floral: dos sépalos totalmente expuestos, dos internos y uno con un lado de la margen cubierto y otro expuesto, a consecuencia el tamaño, la forma y el color varían en función de la posición (Puri, 1947; Ulmer & MacDougal, 2004). En el envés, el sépalo presenta un nervio central abultado conocido como carina cuya proyección en el ápice del sépalo forma una quilla o cuerno (Tillett, 1988), característica común en el subgénero *Passiflora*. La quilla puede ser pequeña, similar a una cerda, o larga como una arista, lateralmente aplanada o, menos común, asemejarse a una hoja, estando su desarrollo estrechamente relacionado con la posición del sépalo en el botón floral, así, los tres sépalos externos presentan quillas más largas (Ulmer & MacDougal, 2004)

Pétalos

La corola está formada por cinco pétalos, que por lo general son membranáceos y de igual tamaño y forma que los sépalos, aunque pueden ser más pequeños, como en *P. auriculata* y *P. gilbertiana* o incluso, estar ausentes [supersección *Cieca* (Medic.) MacDougal & Feulleit] (Tillett, 1988; Ulmer & MacDougal, 2004). Pueden ser blancos, coloreados o moteados y de formas variables (oblongos, oblongo-lanceolados o lineares) y se encuentran en disposición alterna a los sépalos

(Imig, 2013). Algunas especies como *P. andina* Killip, *P. harlingii* Holm-Nielsen, *P. colombiana* Escobar, el pétalo tiende a presentar una uña en contraste con la condición normal de base ancha, o poco estrechada común en la supersección *Tacsonia* (Tillett, 1988; Holm-Nielsen, Jørgensen & Lawesson, 1988)

Androginóforo

Es una columna, generalmente larga, que sostiene los órganos reproductivos (androceo y gineceo), en el ápice se inserta el ovario, que a su vez sostiene los pistilos, los filamentos estaminales surgen de la columna y sostienen la antera (Imig, 2013). El androginóforo surge de la base del tubo floral, erecto o raramente curvado como en *P. mucronata* Lam., *P. ovalis* Vell. ex Roem, y *P. lobata* (Killip) Hutch. ex J.M. MacDougal, su longitud es variable, y puede estar reducido o ausente como ocurre en *P. multiflora* y *P. monadelpha* P. Jørg. & Holm-Niels (Ulmer & MacDougal, 2004)

La dilatación o hinchaón presente en la base del androginóforo de las especies no tubulares del subg. *Passiflora* es llamada tróchela, y se encuentra relacionada con el tallo de la flor (Ulmer & MacDougal, 2004; Imig, 2013). Su función es restringir la entrada a la cámara nectarífera y reforzar la estructura de la base del androginóforo, contra los esfuerzos de los abejorros para obtener néctar (Tillett, 1988).

Ovario

Todas las especies de *Passiflora* presentan ovario súpero, estipitado, unilocular con 3 o escasamente 5 carpelos fusionados, placentaciones parietales y múltiples óvulos, rudimentos de semillas (Dhawan, Dhawan & Charma, 2004). Su forma varía según la especie, siendo globoso, ovoide, elipsoidal u oblongo; pueden ser glabros hasta densamente pubescentes y generalmente presentan estrías longitudinales en la región en que se fija la placenta (Imig, 2013)

Pistilos

Los estilos surgen del ápice del ovario en igual número que la placentación, generalmente tres; por su parte los estigmas frecuentemente son clavados o peltados (Ulmer & MacDougal, 2004). En cuanto a su color, los estilos son verdes, violáceos, moteados o con mayor frecuencia albinos, mientras que los estigmas generalmente son verdosos o albinos (Imig, 2013). Con base en la posición de los estilos se describen dos tipos de flor: tipo normal, donde los estilos se curvan hacia abajo dejando los estigmas frente a las anteras, y el tipo recto donde los estilos están erectos, paralelos al ovario, en cuyo caso no producen fruto (Ishihata, 1981)

Estambres

Los estambres están compuestos por los filamentos estaminales y las anteras. En la base, los estambres forman una membrana que los une y a su vez funciona como adherente al androginóforo, en cuanto al ápice de los filamentos, estos se encuentran libres a la altura del ovario y sostienen la antera (Imig, 2013). En cuanto a su forma, los filamentos pueden ser subulados o filiformes, libres o monadelfos e insertados en el androginóforo, por su parte las anteras son extrosas, versátiles, introsas (en botón), dorsifijas, bitempadas, con una dehiscencia longitudinal (Ulmer & MacDougal, 2004).

Comúnmente, las pasifloras presentan cinco estambres, aunque algunas del viejo mundo presentan hasta ocho, cuyas anteras, en la mayoría de los casos, se orientan más o menos transversales a los radii y a los propios filamentos, así formando un círculo (Tillett, 1988). En función del síndrome de polinización, los estambres se disponen a un lado de la flor, siendo asimétricos, principalmente en las especies cuyos polinizadores son los picaflor y los murciélagos (Imig, 2013).

Fruto

El género *Passiflora* presenta cerca de 42 especies con fruto comestible, de las cuales nueve son de importancia económica en mercados nacionales e internacionales (Ocampo *et al.*, 2007), entre éstas se tiene el maracuyá (*P. edulis f. flavicarpa* O. Deg.), la gulupa (*P. edulis f. edulis* Sims) y la granadilla (*P. ligularis*), las cuales representan las especies de mayor importancia económica (Aguirre & Giraldo, 2014). Además del valor comercial, otras especies son importantes porque son alimento de animales silvestres y producen néctar, polen, frutos, semillas y tejido vegetal para insectos herbívoros (Ramírez, 2006). Los frutos comúnmente son bayas indehiscentes, con pericarpio delgado y membranoso o grueso y carnoso (Tillett, 1988). De manera general existen dos tipos de frutos en *Passiflora*: unos pequeños negros y no palatables comunes del subgénero *Decaloba*, otros grandes, del color amarillo con olor y sabor agradable, comunes en el subgénero *Passiflora* (Imig, 2013).

Por su peso, el fruto normalmente es péndulo, aunque en especies con frutos pequeños sobre pedúnculos cortos y rígidos, éstos se encuentran en la misma disposición que tenían las flores (Tillett, 1988). Algunas especies tienen frutos en cápsulas anguladas, dehiscentes, que permanecen adheridos a la planta hasta que madura y libera las semillas (Ulmer & MacDougal, 2004). En cuanto a su forma, el fruto puede ser globoso, ovalado, oblongo, esférico, elípticos, ovoide o piriformes (Figura 13) (Imig, 2013). Los frutos de *Passiflora* están constituidos por el pericarpio, endocarpio, arilo y semillas (Campos, 2001). El pericarpio guarda en su interior las semillas cubiertas de un arilo gelatinoso y en cantidad variable, según la especie; así, la naturaleza del fruto está directamente relacionada con el mecanismo de dispersión de las semillas, que suele efectuarse a través de aves y mamíferos (Ulmer & MacDougal, 2004).



Figura 13. Frutos de *Passiflora*.

Arilo

El arilo se constituye como la parte comestible del fruto, se encuentra adherido a la pared del fruto a través de funículos, desprendidos de la placentación parietal, que en *Passiflora* generalmente es

de tres (Tillett, 1988). De este modo, las semillas son rodeadas individualmente por un arilo acuoso que guarda el jugo de pasiflora cuyo sabor varía entre muy dulce, ácido o insípido (Imig, 2013). En cuanto a su color (Figura 14) éste puede ser desde blanquecino, amarillento hasta rojo intenso.



Figura 14. Arilo en *Passiflora*.

Semilla

En *Passiflora* las semillas (Figura 15) son numerosas, aplanadas, con testa dura y ornamentada, forma variable (ovaladas, obovadas, obcordadas) y coloración oscura (marrón o negra) cuando están maduras (Imig, 2013). Las

reticulaciones de la testa son variables y pueden ser consideradas como caracteres diagnósticos interespecíficos (Killip, 1938). En el interior de la semilla se encuentra el endospermo blanquecino, aceites y almidones que alimentarán el embrión hasta que esté listo para germinar (Ulmer & MacDougal, 2004)



Figura 15. Semillas de *Passiflora*.

Polinización

Las pasifloras son generalmente plantas alógamas, que presentan polinización cruzada por lo que poseen características morfológicas y químicas atrayentes, de vital importancia para la producción de frutos y semillas. Además, la heterostilia, autoincompatibilidad, protandria, movimiento alterno de anteras y estigma y exposición o no del androginóforo, son fenómenos que ofrece la flor y que garantizan mayor eficiencia en el momento de la polinización (Ramírez, 2006).

Las variaciones de color, forma y presencia o ausencia de estructuras en la flor (figura 16) determinan el tipo de polinizador que alimenta (Ulmer & MacDougal, 2004). Especies que poseen flores de

color violeta, azul, morado, rosado o amarillas, con antesis diurna, androginóforo corto, corona prominente y fragancia intensa son polinizadas por abejas, mientras que las plantas con flores rojas, sobresalientes, con hipantio alargado, corona corta y sin fragancias se especializaron en la atracción de colibríes (Dhawan, Dhawan & Charma, 2004; Medina, Ospina & Nates, 2012). Por su parte, los murciélagos se constituyen como los polinizadores menos frecuentes en *Passiflora*, éstos visitan flores con colores blanco o crema, corona amarilla, antesis nocturna y fragancias suaves como *P. mucronata* y *P. unipetala* P. Jørg., Muchhal & J. M. MacDougal (Ramírez, 2006; Jørgensen, Mu-chala & MacDougal, 2012)



Figura 16. Síndromes de polinización en *Passiflora*. a) Abejas, b) Abejorros, c) Aves, d) Murciélagos.

Conclusiones

Esta investigación permitió establecer los ítems de hábito, raíz, tallo, estípula, hoja, flor, inflorescencia, fruto y semilla con sus respectivas descripciones que relacionan la taxonomía actual de *Passiflora*.

Adicionalmente, se añadió un componente de polinización que determinó las principales relaciones florísticas y polinizadores como insectos, aves y mamíferos.

Fue posible explorar la variabilidad existente a nivel intra e inter específico, lo cual facilitará a futuro valorar la importancia económica de *Passiflora* por su uso potencial.

El entendimiento de las estructuras morfológicas en *Passiflora* puede servir de guía para trabajos de caracterización de germoplasma y revisiones taxonómicas como eje para describir nuevas especies.

Literatura citada

1. Aguirre, C. & Giraldo, L. (2014). Caracterización agro-morfológica de accesiones de granadilla (*Passiflora ligularis* Juss.) de los departamentos de Caldas, Putumayo, Quindío, Risaralda y Valle del Cauca, Colombia-(Tesis de pregrado) Universidad de Caldas. 59 pp.
2. Aguirre, C., Caetano, C. & Bonilla, M. (2015). Diversidad y distribución de *Passiflora* subgenero *Astrophea* (passifloraceae) de Colombia. I Simposio Colombiano de Recursos Fitogenéticos Neotropicales-VIII Congreso Colombiano de Botánica. 188 pp.

3. Bonilla, M. (2014). Diversidad y Biogeografía de *Passiflora* L. supersección *Tacsonia* (Passifloraceae) del trópico andino. (Tesis de maestría) Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. 121 pp.
4. Bonilla, M. & Aguirre, M. (2015). Bioprospección de *Passiflora* supersección *Tacsonia*: uso de las curubas en los Andes para su manejo y conservación. I Simposio Colombiano de Recursos Fitogenéticos Neotropicales- VIII Congreso Colombiano de Botánica. 104 pp.
5. Bugallo, V., Cardone, S., Pannunzio, M. & Facciuto, G. (2011). Breeding advances in *Passiflora* spp. (Passion-flower) native to Argentine. *Floriculture and Ornamental Biotechnology*. 5(1): 23-34.
6. Campos, T. (2001). La Curuba: Su cultivo. Bogotá, Colombia, IICA. 30pp.
7. Cervi, A. & Linsigen, L. (2010). *Passiflora kikiana*, a new species of Passifloraceae from the Brazilian Amazon. *Acta Botanica Brasilica*. 24 (4):1062-1064.
8. Cervi, A. (1997). Passifloraceae do Brasil. Estudo do genero *Passiflora* L., subgenero *Passiflora*. *Fontqueria*. 45: 1-92.
9. Coppens d'Eeckenbrugge, G., Barney, V., Jørgensen, P. & MacDougal, J. (2001a). *Passiflora tarminiana*, a new cultivated species of *Passiflora* subgenus *Tacsonia*. *Novon* 11:8-15.
10. Coppens d'Eeckenbrugge, G., Segura, S., Hodson, E. & Gongora, G. (2001b). Passion fruits. In: Charrier et al. (Eds.). Tropical plant breeding. Montpellier, Francia, CIRAD; Enfield, U.S.A, Science Publischer. 381-401pp.
11. Coppens d'Eeckenbrugge G. (2003). Promesas de las pasifloras. Memorias del X Seminario Nacional y IV Internacional sobre Especies Promisorias, Medellín Octubre 29-31 de 2003. CD.
12. Checa, O., Rosero, E. & Eraso I. (2011). Colección y caracterización morfoagronómica del subgénero *Tacsonia* en la zona Andina del departamento de Nariño, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía de Medellín*. 64(1): 5893-5907.
13. Costa, A. & Cavalcante, H. (2010). Desarrollo tecnológico para uso de pasifloras silvestres como alimentos funcionales y medicinales. Memorias Primer Congreso Latinoamericano de Passiflora, Neiva-Huila. 98-106pp.
14. Cusset, C. (1968). Les vrilles de Passifloracees. Bul. Soc. Bot. France.115:45-61.
15. Dhawan, K., Dhawan, S. & Sharma, A. (2004). *Passiflora*: a review update. *Journal of Ethnopharmacology* 94, 1–23.
16. Escobar, L. (1985). Biología reproductiva de *Passiflora manicata* e hibridación con la curuba *Passiflora mollissima* (H.B.K.) Bailey. *Actualidades Biológicas*. 14 (54): 111-121.
17. Escobar, L. (1986). New species and varieties of *Passiflora* (Passifloraceae) from the Andes of South America. *Systematic Botany*. 11(1): 88-97.
18. Escobar, L. (1987). A taxonomic revision of the varieties of *Passiflora cumbalensis* (Passifloraceae). *Systematic Botany*. 12 (2): 238-250.
19. Escobar, L. (1988a). Passifloraceae. Flora de Colombia 10. Instituto de Ciencias Naturales, Universidad Nacional de Colombia. 138pp.
20. Escobar, L. (1988b). Novedades en *Passiflora* (Passifloraceae) de Colombia. *Mutisia*. 71:1-8.
21. Escobar, L. (1989). A new subgenus and five new species in *Passiflora* (Passifloraceae) from South America. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 76: 877-885.
22. Escobar, L. (1990). Two new species of *Passiflora* (Passifloraceae) from northern South America. *Phytologia*. 69 (5): 364-365.
23. Escobar, L. (1994, inédito). Una revisión taxonómica de *Passiflora* subg. *Astrophea* (Passifloraceae). 289 pp.
24. Escobar L. (1994). Two new species and a key to *Passiflora* subg. *Astrophea*. *Systematic Botany*. 19 (2): 203-210.
25. Esquerre, B. (2015). A new species of *Passiflora* supersection *Tacsonia* (Passifloraceae) from Amazonas, Northern Peru. *Phytotaxa*. 266-272.
26. Feuillet, C. & MacDougal, J. (2002). Checklist of recognized species names of passion flowers. *Passiflora*. 12 (2): 41-43.
27. Feuillet, C. & MacDougal, J. (2003). A new infrageneric classification of *Passiflora* L. (Passifloraceae). *Passiflora*. 13 (2): 34-38.
28. Font Quer, P. (1965). Diccionario de Botánica. (2a. reimpresión del original de 1953.) Editorial Labor, S. A., Barcelona, xxxii: 1244 pp.
29. Hernández, A. & Bernal, A. (2000). Lista de especies de Passifloraceae de Colombia. *Biota Colombiana*. 1(3): 320-350.
30. Hernández, A. & García, N. (2006). Las Pasifloras. In Libro rojo de plantas de Colombia: las bromelias, las labiadas y las pasifloras; García, N. y Galeano, G (eds.). Instituto Alexander von Humboldt- Instituto de Ciencias Naturales de la Universidad Nacional de Colombia: Bogotá, Colombia. 567-583 pp.
31. Hilgenhof, R. (2012). *Passiflora* subgenus *Astrophea*- curiosities amongst the passionflowers. *Royal Botanical Garden, Kew*. 111 pp.
32. Holm-Nielsen L.B., Jørgensen P.M. & Lawesson J.E. (1988). Passifloraceae. In: Harling & L. Andersson (eds.), *Flora of Ecuador* 31: 124pp.
33. Imig, D. (2013). Estudo taxonômico da família Passifloraceae Juss. no Distrito Federal, Brasil. Tesis. Maestría en Ciencias Biológicas Área de Botánica. Universidade Federal do Paraná. pp. 103.
34. Imig, D. & Cervi, C. (2014). A new species of *Passiflora* L. (Passifloraceae), from Espírito Santo, Brazil. *Phytotaxa*. 292-296.
35. Ishihata, K. (1981). Studien the morphology of flowering organs and fruit bearing in purple passion fruit, *Passiflora edulis* Sims. *Mem Fac Agr Kagoshima Univ*. 31: 25-31.
36. Jørgensen, P., Muchhalo, N. & MacDougal, J. (2012). *Passiflora unipetala*, a new bat-pollinated species of *Passiflora* supersect. *Tacsonia* (Passifloraceae). *Novon*. 22: 174-179.

- 37.** Jørgensen, P. & Vásquez, R. (2009). A revision of *Passiflora* sections *Insignes* and *xInkeia* (Passifloraceae). *Anales Jardín Botánico de Madrid*. 66(1): 35-53.
- 38.** Jørgensen, P., Lawesson, J. & Holm-Nielsen, L.B. (1984). A guide to collecting passionflowers. *Annales of the Missouri Botanical Garden*. Vol. 71, No. 4. 1172-1174.
- 39.** Killip E.P. (1938) The American Species of Passifloraceae. Field Museum of Natural History Publication. Botanical Series 19: 613pp.
- 40.** Killip, E. (1960). Supplemental notes to the American species of *Passiflora* with descriptions of new species. Contributions from the U.S. National Herbarium. 35: 2 (Tomo I).
- 41.** Krosnick, S., Ford, A. & Freudenstein. (2009). Taxonomic Revision of *Passiflora* subgenus *Tetrapathea* including the Monotypic Genera *Hollrungia* and *Tetrapathea* (Passifloraceae), and a New Species of *Passiflora*. *Systematic Botany*.34 (2): 375-385.
- 42.** Kuethe, Y. (2011a). Studies on *Passiflora*: Species complexes. *Passiflora Online Journal*. 1:20-25.
- 43.** Kuethe, Y. (2011b). *Passiflora favardensis*, a new species of *Passiflora* Series *Laurifoliae* (Passifloraceae) from French Guiana. *Passiflora Online Journal*. 1:20-25.
- 44.** Masters, M.T. (1871). XIX. Contributions to the natural history of the Passifloraceae. *Trans. Linn. Soc. London* 27:593-645, tab. 64, 65.
- 45.** Medina, J., Ospina R. & Nates, G. 2012. Efectos de la variación altitudinal sobre la polinización en cultivos de gulupa (*Passiflora edulis* f. *edulis*). *Acta biológica Colombiana*. 17 (2): 379-394.
- 46.** Ocampo, J., Coppens, G., Restrepo, M., Jarvis, A., Salazar, M. & Caetano, C. (2007). Diversity of Colombian Passifloraceae: biogeography and an updated list for conservation. *Biota Colombiana* 8(1): 1-45.
- 47.** Ocampo, J., Coppens, G. & Jarvis, A. (2010). Distribution of the genus *Passiflora* L. diversity in Colombia and its potential as an indicator for biodiversity management in the coffee growing zone. *Diversity*. 2: 1158-1180.
- 48.** Ocampo, J. (2007). Study of the diversity of genus *Passiflora* L. (Passifloraceae) and its distribution in Colombia. Thesis Doctor of Agricultural Sciences. National School Agricultural Montpellier. 295 pp.
- 49.** Puri, V. (1947). Studies in floral anatomy IV. Vascular anatomy of the flower of certain species of the Passifloraceae. *American Journal Botany*. 34:562-573.
- 50.** Puri, V. (1948). Studies in floral anatomy V. On the structure and nature of the corona in certain species of the Passifloraceae. *J. Indian Bot. Soc.* 27: 130-149.
- 51.** Ramírez, W. (2006). Hibridación interespecífica en *Passiflora* (Passifloraceae), mediante polinización manual, y características florales para la polinización. *Lankesteriana*. (3): 123-131.
- 52.** Rivera, B., Miranda, D., Ávila, L. & Nieto, A. (2002). Manejo integral del cultivo de granadilla (*Passiflora ligularis*). Editorial Litoas, Manizales, Colombia. 130pp.
- 53.** Sacramento, T. & Paganucci, L. (2014). Two new species of *Passiflora* subgenus *Deidamiooides* (Passifloraceae) from Brazil. *Systematic Botany*. 39 (4): 1166-1171.
- 54.** Sandoval, A., Forero, F., Cabrera, S., Rivera, J. & Parra, M. (2010). Caracterización de extractos a partir de hojas y flores del maracuyá *Passiflora edulis* f. *flavicarpa*, granadilla *Passiflora ligularis* (Juss.) y chulupa *Passiflora maliformis* (L.) del departamento del Huila. Memorias Primer Congreso Latinoamericano de *Passiflora*, Neiva-Huila.114p.
- 55.** Simpson, M. (2010). Plant systematics. Academic Press. Second Edition. 740pp.
- 56.** Tillett, S. (1988). *Passionis passifloris* II. Terminología. *Ernstia* 48: 1-40.
- 57.** Ulmer, T. & MacDougal, J. (2004). *Passiflora*: passionflowers of the world. Timber Press Portland, Oregon. 430 pp.
- 58.** Vanderplank, J. & Zappi, D. (2011). *Passiflora cristalina*, a striking new species of *Passiflora* (Passifloraceae) from Mato Grosso, Brasil. *Kew Bulletin*. 66: 149-153.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 9 de septiembre de 2014
 Aceptado: 20 de octubre de 2014

Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes

Preliminary method of detection of biological pathogens in crops of Strawberry by means of digital image processing

Método de detecção preliminar de patógenos biológicos na cultura do morango por meio de processamento digital de imagens

Darío Amaya Hurtado¹ & Juan David Sandino Mora²

¹Ingeniero Electrónico, Especialista en Automatización de procesos industriales, Magíster en teleinformática, Doctor en Ingeniería Mecánica. ²Estudiante de Ingeniería en Mecatrónica.

^{1,2} Facultad de Ingeniería. Universidad Militar Nueva Granada. Carrera 11 # 101 – 80. Bogotá. Colombia

¹dario.amaya@unimilitar.edu.co, ²u1801731@unimilitar.edu.co

Resumen

En la actualidad, muchos estudios enfocados en el reconocimiento de patógenos biológicos, a través de los frutos de cultivos de fresa son efectivas, sin embargo la adquisición de la imagen se realiza mediante métodos destructivos que implican arrancar los frutos de la planta. En la presente investigación se ha propuesto el desarrollo de un algoritmo que permita analizar los frutos de un cultivo de fresa (*Fragaria x ananassa*), capaz de realizar una primera aproximación para distinguir *Botrytis sp.* y *Sphaerotheca sp.*, usando un método no destructivo, es decir, recolectando las imágenes directamente del cultivo sin realizar intervención alguna por parte de los productores y/o investigadores. Las técnicas de procesamiento de imágenes implementadas incluyen suavizado, erosión, dilatación, detección de contornos,

correspondencia de patrones, umbralización, entre otros. Los resultados obtenidos se visualizaron en una aplicación desarrollada en C# usando la librería Emgu CV, mostrando al usuario un diagnóstico de la planta de estudio. Se concluye que es posible ofrecer un servicio de monitoreo preliminar de incidencia de patógenos usando este algoritmo, ahorrando tiempo para productores e investigadores que requieran una primera aproximación del estado del cultivo, con la posibilidad de ejecutarse tanto en computadores de escritorio y portátiles como en robots aéreos (drones) que posibilitan automatizar esta tarea.

Palabras clave: *Botrytis sp.*, cámara digital, correspondencia de patrones, detección de contornos, *Fragaria x ananassa*, *Sphaerotheca sp.*

Abstract

Currently, many studies that have been focused on the recognition of biological pathogens, through the fruits of strawberry crops are effective, however the image acquisition is carried out by destructive methods that involve booting the fruits of the plant. In this research has been proposed the development of an algorithm that allows analyze the fruits of a cultivation of Strawberry (*Fragaria x ananassa*), capable of performing a first approximation to distinguish *Botrytis* sp. and *Sphaerotheca* SP., using a non-destructive method, i.e., images are collected directly from cultivation without any intervention by the producers and/or researchers. The image's processing techniques that have been implemented include smoothing, erosion, dilation, detection of contours, patterns of correspondence, thresholding, among others. The results were visualized in an application developed in C# using the library Emgu CV, which shows to the user a diagnosis of plant study. It was concluded that it is possible to offer a service of preliminary monitoring of incidence of pathogens using this algorithm, saving time for producers and researchers who require a first approximation of the crop, with the ability to be executed both on desktop computers and laptops as in aerial robots (drones) that makes it possible automate this task.

Keywords: *Botrytis* sp, digital camera, correspondence of patterns, detection of contours, *Fragaria x ananassa*, *Sphaerotheca* sp.

Resumo

Atualmente, muitos estudos voltados ao reconhecimento de patógenos biológicos através dos frutos do morangueiro são eficazes; no entanto, a aquisição da imagem é realizada por meio de métodos destrutivos que envolvem o arranque dos frutos da planta. Nesta pesquisa foi proposto o desenvolvimento de um algoritmo que permita analisar os frutos de uma cultura de morango (*Fragaria x ananassa*), de modo que seja capaz de realizar uma primeira aproximação para distinguir *Botrytis* sp. e *Sphaerotheca* sp., usando um método não destrutivo, ou seja, capturando imagens diretamente da cultura e sem envolvimento de produtores e/ou pesquisadores. As técnicas de processamento implementadas envolvem suavidade, erosão, dilatação, detecção de bordas, correspondência de padrões, umbralização, entre outros. Os resultados obtidos foram visualizados em um aplicativo desenvolvido em C#, usando a biblioteca Emgu CV, mostrando ao usuário um estudo de diagnóstico da planta. Foi concluído que é possível oferecer um serviço de monitoramento preliminar de incidência de patógenos utilizando esse algoritmo, economizando tempo para os produtores e pesquisadores que precisam de uma primeira aproximação do estado da cultura, e com a capacidade de ser executado tanto em computadores como em robots aéreos (drones) que possibilitam automatizar esta tarefa.

Palavras-chave: *Botrytis* sp., Câmera digital, correspondência de padrões, detecção de bordas, *Fragaria x ananassa*, *Sphaerotheca* sp.

Introducción

Muchas de las prácticas adoptadas en horticultura, específicamente en cultivos de fresa, son rigurosamente preventivas. Esto es realizado para garantizar que el producto ofrecido al mercado, se encuentre en las mejores condiciones nutricionales y sanitarias (Guadarrama Díaz, 2006), (Maas, 1998), (Flórez Faura & Mora Cabeza, 2010), (Lallana & Lallana, 2014). Cuando se manifiesta algún patógeno biológico relacionado con el cultivo,

las acciones de control de enfermedades suelen ser prácticamente destructivas. En Lesur, Manual de Horticultura: una guía paso a paso, 2003 y Lesur, Manual de Fruticultura: una guía paso a paso, 2003, se muestra como en algunos casos, donde se detectan bacterias, hongos y virus en un cultivo, se dificulta la erradicación de éstos, si los síntomas en el tallo, hoja, folíolos y/o frutos, se encuentra en un estado muy avanzado. Cuando

se presenta este tipo de situaciones es recomendable actuar rápido para preservar las camas del cultivo durante su ciclo de vida, por tanto es indispensable conocer el estado del cultivo y generar un diagnóstico adecuado antes de tomar esta clase de decisiones.

Los catálogos y textos relacionados con la identificación de enfermedades en cultivos de fresa, corresponden a variedades que se cultivan en Estados Unidos (Maas, 1998). En el caso colombiano aún no existen catálogos oficiales, que permitan identificar cada uno de los patógenos biológicos, a los que pueden estar expuestas las variedades de fresa que se cultivan en el país (Lexus, 2007). A pesar de que estas fuentes de información sean muy ilustrativas (Lallana & Lallana, 2014), los síntomas que pueden presentarse en las camas de un cultivo de fresa, suelen ser difícilmente distinguibles para las personas que carezcan de contacto directo con él. Además, los análisis de laboratorio llevan un tiempo considerable y los diagnósticos muchas veces no resultan ser los más adecuados.

Las investigaciones enfocadas en la identificación y recopilación de información en los cultivos de fresa a través de su fisiología, mediante la adquisición de imágenes en sus frutos, han sido efectivos, siempre y cuando se implementen métodos directos cuya metodología implica arrancar los frutos de la planta en estudio, como se presentan en Du & Sun, 2004, Lu, Ren, Zhang, & Shen, 2010, Bock & Nutter Jr, 2011, Jingwen & Hong, 2012 y Schikora & Schikora, 2014.

Independientemente de los algoritmos de visión de máquina ejecutados en estas investigaciones, se observa, que estas técnicas no resultan muy convenientes debido a que se consideran destructivas. Basado en esto, se propone en esta investigación validar un algoritmo que permita identificar enfermedades que pueden presentarse en plantas de fresa (*Fragaria x ananassa*) del cultivar Albion usando procesamiento digital de imágenes. La metodología implementada evitará utilizar métodos directos o destructivos para la adquisición

de datos. La identificación de las anomalías deberá hacerse usando un sistema de visión artificial en una interfaz gráfica de usuario (GUI), de forma rápida e intuitiva para el usuario final, que permita ofrecer una primera aproximación de monitoreo de incidencia de patógenos en las plantas de estudio.

Materiales y Métodos

Para el desarrollo de esta investigación, se realizó una toma de imágenes al cultivo de fresa de manera indirecta, las cuales fueron posteriormente procesadas diseñando una aplicación desarrollada en C# usando la librería Emgu CV, utilizando métodos de detección de contornos, correspondencia de patrones, umbralización, suavizado, erosión, dilatación, entre otros. Los resultados permiten mostrar al usuario el diagnóstico de un posible patógeno al cual puede estar afectando la planta de estudio. En la Figura 1 se puede apreciar el esquema de los principales componentes de trabajo.

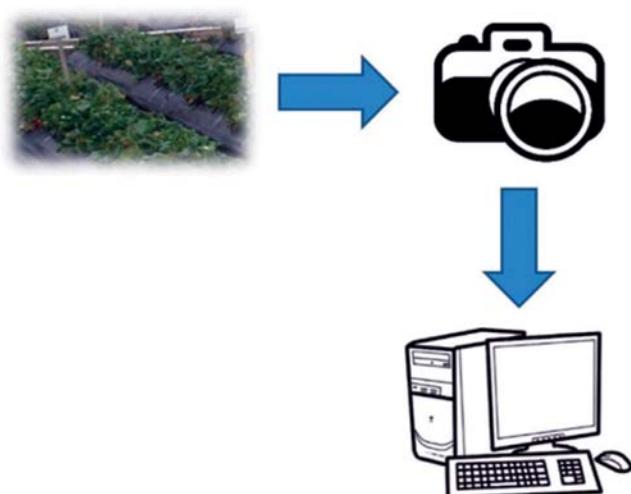


Figura 1. Representación de las condiciones de trabajo

Se toma como base experimental plantas de fresa del cultivar Albion, en el Campus Nueva Granada, de la Universidad Militar Nueva Granada, ubicado en el municipio de Cajicá, Cundinamarca, Colombia, bajo una temperatura promedio de 14°C, a una altitud de 2.560 msnm y humedad relativa promedio del

85.06%. El área del cultivo en estudio fue de 403.2 m², constituido por 9 camas elevadas de 13.5m de

largo por 0.7m de ancho y la distancia de siembra entre las camas fue de 0.4m (Figura 2).



Figura 2. Vista general del cultivo de fresa del Campus Nueva Granada

Definido el espacio de trabajo, se obtienen las imágenes tomando las capturas directamente sobre el cultivo, evitando tener contacto directo con las plantas de las camas de fresa. La adquisición de las imágenes, se obtiene por medio de una cámara digital fotográfica, con especificaciones de resolución de 16MP, ajustes de brillo y contraste automáticos, velocidad de captura de 250Hz y formato de salida JPEG. Cada captura se realiza de forma manual, evitando así utilizar el zoom digital. Las imágenes fueron tomadas entre las 10:00a.m y 11:00a.m, bajo condiciones meteorológicas de cielo parcialmente nublado.

Al obtener una base de datos con imágenes que presentan diversas anomalías en el cultivo estudiado, se desarrolló un algoritmo que permite identificar dichas singularidades, el cual fue posteriormente ejecutado a través de una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) en un computador de escritorio bajo las siguientes especificaciones: procesador AMD Athlon II X245 (2 x 2.9GHz), memoria RAM de 4GB DDR2, tarjeta gráfica ATI Radeon

HD 4350 y sistema operativo Windows 8.1 Update (64bit). Con el fin de automatizar el reconocimiento de anomalías en plantas de fresa, el algoritmo propuesto tuvo la capacidad de seleccionar automáticamente la metodología apropiada para cada uno de los posibles diagnósticos que puedan presentarse en el monitoreo de incidencia.

Resultados

Algoritmo de identificación propuesto

En la Figura 3, se presenta el algoritmo propuesto para la identificación de patógenos en el cultivo de estudio. El algoritmo, tiene la capacidad de diferenciar, si la imagen a analizar, fue enfocada en los frutos de la planta. De darse esta situación, el algoritmo tendrá la capacidad de reconocer la existencia de *Botrytis sp.* y *Sphaerotheca sp.*. De lo contrario el algoritmo aborta la metodología de diagnóstico manifestando al usuario que la imagen adquirida no se encuentra enfocando las camas de

fresa. Una vez se identifique el tipo de estudio a llevar a cabo, fueron efectuadas diferentes técnicas

de segmentación de imagen para identificar posibles anomalías en las plantas de estudio.

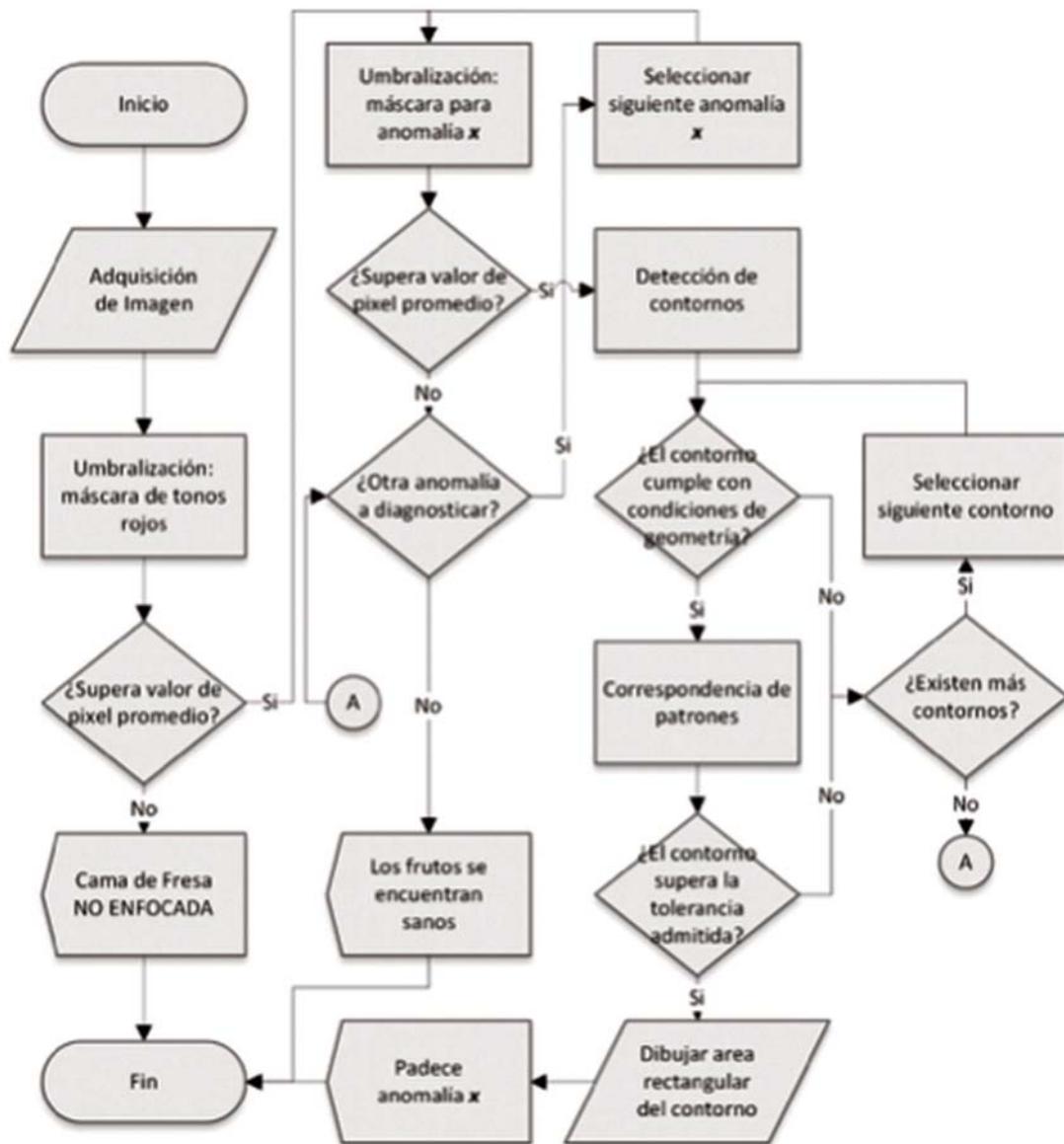


Figura 3. Diagrama de flujo general para detectar anomalías en frutos para plantas de fresa

Al cargar la imagen en la aplicación, se realizó una conversión de los datos contenidos en ella, desde el formato *Red, Green, Blue* (RGB) característico de las cámaras digitales, al formato *Hue, Saturation, Value* (HSV) a través del algoritmo propuesto por OpenCV - *Miscellaneous Image Transformations*, 2015, el cual mejora analíticamente la distinción de los colores contenidos en una imagen.

Luego se obtuvo una máscara digital principal con el fin de determinar si la imagen original fue enfocada en los frutos de la planta. Para obtener la máscara, se realiza una umbralización usando el método *In-Range(...)*, retornando una imagen binaria tomando como base la Ecuación 1, donde I es la imagen de origen, R es la imagen resultante, y a y b los rangos HSV inferior y superior respectivamente.

$$dst(I) = \begin{cases} 255 & \rightarrow lowerb(I)_0 \leq src(I)_0 \leq upperb(I)_0 \\ 0 & \rightarrow \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (1)$$

Con la imagen binaria y utilizando el método *Get Average(...)* (Ecuación 2, donde i es la imagen de origen y I el número de pixeles contenidas en n), se obtuvo la media de los valores de todos los pixeles que conforman la máscara principal. Con dichos valores se determinaron los niveles de intensidad de tonos rojos para distinguir los frutos, por lo tanto, la imagen original fue considerada candidata a ser analizada si la media es superior a 6.0, que equivale al 2.35% de intensidad.

$$Avg = \frac{\sum_{i=0}^n src(I)_0}{n} \quad (2)$$

A las imágenes que superaron esta condición, les fue aplicado un filtro de suavizado, utilizando el

método *SmoothMedian(...)* definido por la Ecuación 3, con el propósito de atenuar el ruido presente en la adquisición de la imagen, característico en las cámaras digitales.

$$K = \frac{1}{2 * ks} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \\ \vdots & & \ddots & & & \vdots \\ 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Donde ks es un valor impar, equivalente al tamaño de la apertura. Teniendo en cuenta que este filtro de suavizado reduce el área de los contornos obtenidos, se aplica el método *Dilate(...)* (Ecuación 4), el cual aumenta las regiones que contengan más brillo. Un ejemplo de la operación anterior se visualiza en la imagen superior derecha ilustrada en la Figura 4.

$$dst(x,y) = \max_{(x',y'): element(x',y') \neq 0} src(x+x',y+y') \quad (4)$$

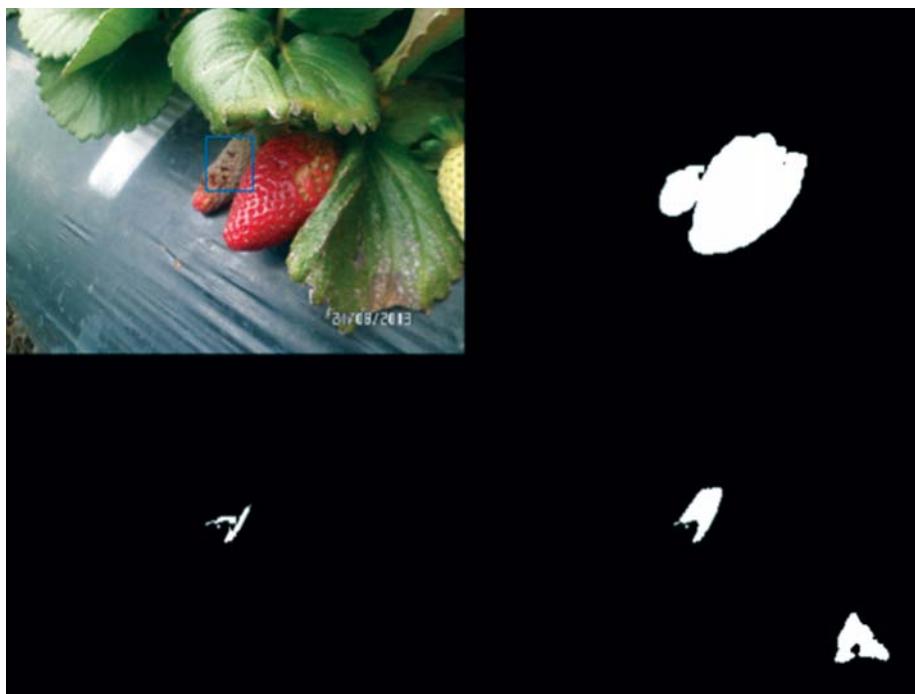


Figura 4. Ilustración de las operaciones principales del algoritmo propuesto. Imagen superior izquierda: imagen original para diagnosticar botrytis cinerea; imagen superior derecha: máscara principal de tonos rojos; imagen inferior derecha: máscara generada para detectar botrytis; imagen inferior izquierda: operación AND entre las 2 imágenes anteriores.

Para realizar el diagnóstico del objeto de interés, se aplica a la imagen original, una operación de umbralización en formato HSV, a través del método *InRange(...)* (Ecuación 1), cuyos parámetros están predefinidos para cada una de las anomalías incluidas en este estudio. Con la imagen binaria resultante, se verifica la existencia de algún contorno usando el método *GetAverage(...)* (Ecuación 2). Si no se detecta ninguna región en la imagen binaria, se descarta la presencia de la

anomalía en la imagen analizada. En la imagen inferior derecha de la Figura 4, se ilustra un ejemplo de la imagen retornada para evaluar *Botrytis sp.*

A la imagen resultante se le aplica la operación lógica *AND* (Ecuación 5), que determina si las regiones resaltadas de la anomalía, se encuentran incrustadas de las zonas de la máscara principal, descartando así resultados erróneos por contornos que pertenezcan a otros objetos.

$$dst(x,y) = \begin{cases} 255 \rightarrow src1(x,y) = src2(x,y) \wedge src1(x,y), src2(x,y) \neq 0 \\ 0 \rightarrow \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (5)$$

Donde es la imagen resultante, y equivalen a las imágenes de origen para efectuar la operación lógica *AND*. Los resultados de esta operación se observan en la imagen inferior derecha de la Figura 4. Enseguida se discriminan los contornos exteriores de la imagen resultante, utilizando el método *FindContours(...)*, de acuerdo con el algoritmo expuesto en (OpenCV - Structural Analysis and Shape Descriptors, 2015).

Con los contornos obtenidos se ejecutan métodos que permitan discriminar cada región por su tamaño y forma. Para ello cada uno de los contornos fueron analizados con el método *ApproxPoly(...)* usando el algoritmo de Ramer–Douglas–Peucker (Ramer, 1972) (Douglas & Peucker, 1973) (Hershberger & Snoeyink, 1992), generando nuevas regiones cuya forma se aproxima a la de un polígono ordinario. El objetivo de esta operación consistió en comparar los contornos generados con un patrón pre-definido con el método *MatchShapes(...)* definido por la Ecuación 6.

$$I(A, B) = \sum_{i=1 \dots 7} \left| \frac{1}{m_i^A} - \frac{1}{m_i^B} \right|$$

Donde

$$\begin{aligned} m_i^A &= sign(h_i^A) \cdot \log h_i^A \\ m_i^B &= sign(h_i^B) \cdot \log h_i^B \end{aligned} \quad (6)$$

	0	1	2	3
0	0,0	1,0	2,0	3,0
1	0,1			3,1
2	0,2			3,2
3	0,3			3,3
4	0,4			3,4
5	0,5			3,5
6	0,6			3,6
7	0,7			3,7
8	0,8	1,8	2,8	3,8

Figura 5. Patrón de ejemplo para un contorno de forma rectangular.

Fuente: Asano, Del Fierro, & Grandeza , 2011.

El método devuelve un valor flotante indicando la relación entre el contorno de entrada y el patrón predefinido en un rango de 0.0 (ambas regiones coinciden) a 1.0 (no coinciden en lo absoluto). Finalmente se establece una tolerancia para el valor devuelto por el método para definir si el contorno será dibujado. El resultado final del diagnóstico se

aprecia en la imagen superior izquierda de la Figura 4. Una vez se terminen de dibujar los contornos clasificados se publica el diagnóstico en la GUI.

Diseño de la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI)

El diseño de la GUI (Figura 6) permite interactuar de manera dinámica la ejecución del algoritmo planteado para su uso en el usuario final.

Esta permite cargar imágenes y videos desde una ubicación en el equipo, cargar plantillas de demostración para interpretar de manera rápida el funcionamiento de la aplicación, una barra de herramientas visualizando controles de reproducción de videos y el tiempo invertido en el procesamiento del algoritmo, junto con caja de texto mostrando el diagnóstico del objeto de estudio. Los resultados se guardan generando una imagen visualizada en la GUI cuyo nombre corresponde al diagnóstico asignado por el algoritmo.

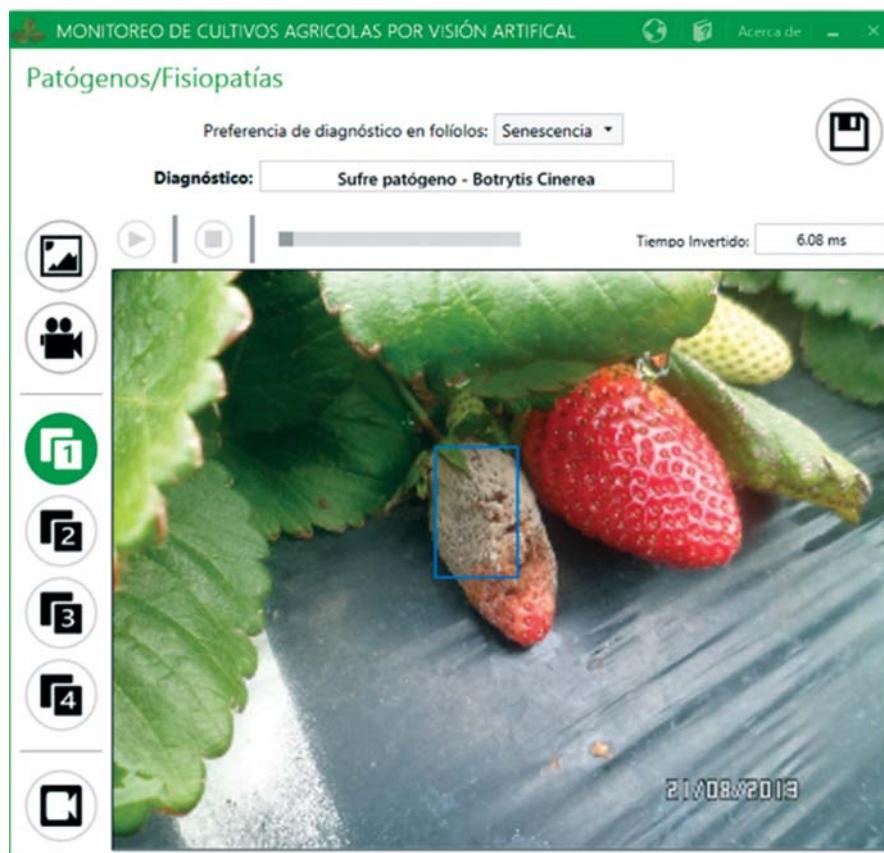


Figura 6. Ejecución del algoritmo en la GUI, entregando al usuario un diagnóstico de *Botrytis sp.*

Discusión

Se realizaron pruebas de rendimiento de la aplicación utilizando el tiempo invertido en cada una de las pruebas (Figura 7). Dichas pruebas se clasificaron de

acuerdo a los posibles diagnósticos que el algoritmo arroja al usuario (plantas enfermas, plantas sanas e imágenes no enfocadas en las camas del cultivo).

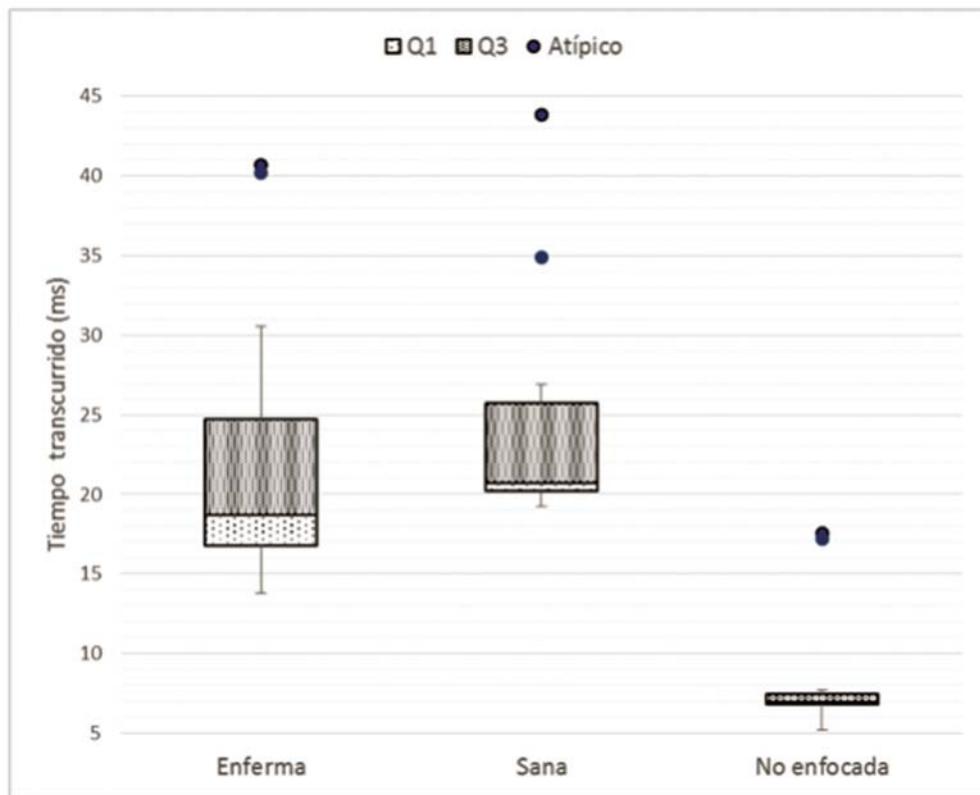


Figura 7. Representación del tiempo invertido por el algoritmo para arrojar cada uno de los posibles diagnósticos

La asimetría observada en la categoría de plantas enfermas (*Botrytis sp.* y *Sphaerotheca sp.*) corresponde al número variable de contornos que es capaz de detectar el algoritmo en cada captura fotográfica; en términos generales, el número de regiones es escaso para un fruto que padezca los primeros síntomas de una enfermedad, y viceversa. No obstante los valores del cuartil 1 (17ms) y cuartil 3 (24ms) evidencian que el rendimiento del algoritmo se adecua para reproducir videos a 60Hz (33.33ms o 30 FPS) sin ninguna dificultad, y con suficiente estabilidad al obtener aprox. 2 ms de diferencia entre la mediana y el cuartil 1. Una situación similar ocurre al analizar plantas con frutos sanos, salvo que se observa un leve incremento en la magnitud de todos los cuartiles, a causa de que este diagnóstico es arrojado por descarte. En el caso

contrario se situó la categoría de “imágenes no enfocadas en las camas del cultivo”, cuya mediana fue de 7ms y el rango intercuartílico no superó 1ms, puesto que, de acuerdo con el algoritmo de la Figura 3, se aborta la ejecución de métodos de segmentación de imagen si no se cumplen las condiciones de pre-procesado de imagen mencionadas con anterioridad. Finalmente los valores atípicos en las 3 categorías conciernen a registros altos de tiempos al ejecutar las primeras muestras (imágenes), debido a que los módulos del programa requieren de cargarse en la memoria del PC. El rendimiento en general es sobresaliente para imágenes con resoluciones bajas (320x240) y (640x480). Sin embargo en la reproducción de videos es evidente una caída notable de hasta 15 FPS para videos de 640x480.

Con el fin de obtener la eficiencia de cada algoritmo para arrojar un diagnóstico acertado, se muestran un total de 15 imágenes obtenidas para cada patógeno de acuerdo con la Ecuación 7, donde corresponde al número de diagnósticos acertados y

al número de diagnósticos errados. Los resultados obtenidos se muestran en la Figura 8.

$$\text{Exactitud} = \frac{DA - DE}{DA} * 100 \quad (7)$$

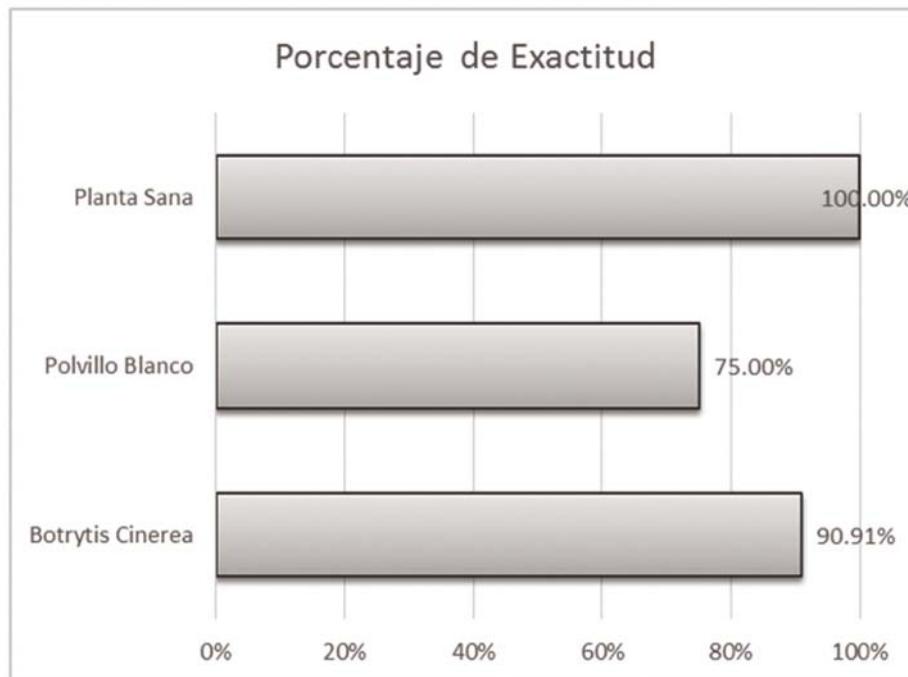


Figura 8. Eficiencia del algoritmo propuesto para cada uno de los patógenos biológicos analizados

El algoritmo fue específicamente planteado para analizar imágenes enfocadas a las plantas del cultivo de fresa, por lo que pueden generarse diagnósticos inadecuados a imágenes que no correspondan en lo absoluto con esta investigación. Por lo tanto se recomienda tener una herramienta de adquisición de imágenes de alta calidad, que permita distinguir con mayor claridad o nitidez los objetos entre sí.

El algoritmo propuesto y ejecutado en la GUI presentada en esta investigación visualiza diferentes ventajas a comparación de otros estudios: de acuerdo con (Sankaran, Mishra, Ehsani, & Davis, 2010), los métodos recientes para la identificación de enfermedades en frutas, los cuales incluyen la espectroscopia en UV, espectroscopia en IR, imágenes por fluorescencia, cromatografía, imágenes hiperespectrales, entre otros, carecen de técnicas

para suprimir la información del fondo en las imágenes obtenidas (disminuye la exactitud de los algoritmos usados), el alto costo de adquisición y mantenimiento de éstas técnicas, y la adquisición de imágenes no requiere de instalaciones y equipos aislados del cultivo, tal y como se evidencia en ElMasry, Wang, ElSayed, & Ngadi, 2007. Adicionalmente este estudio no implementa técnicas de química analítica costosas y lentas en validación de metodología (Vandendriessche, Keulemans, Geeraerd, Nicolai, & Hertog, 2012), aunque se reitera que la aplicación permite una aproximación general y estas técnicas de validación no deben depreciarse en lo absoluto; aplicar dichas técnicas para monitoreos de incidencia en camas enteras de cultivos extensos representa un alto consumo de tiempo y recursos, caso contrario que otorga el algoritmo presentado en esta investigación.

Los estudios mencionados anteriormente coinciden con el estudio actual, en que la optimización que requiere cada metodología para identificar anomalías en distintos cultivos agrícolas, no se obtiene usando algún método en particular y ésta debe adquirirse usando técnicas adicionales, como la ejecución de aplicaciones especializadas en el procesamiento de imágenes, aplicación de redes neuronales, algoritmos genéticos y/o técnicas de optimización (Huang, 2007, Camargo & Smith, 2009). Finalmente se propone para futuras investigaciones la exportación de este tipo de aplicaciones a la nube virtual y a diferentes plataformas móviles para mejorar la portabilidad de esta herramienta de diagnóstico y así efectuar monitoreos de incidencia, dadas las tendencias actuales del mercado de software.

Conclusiones

Se propuso, ejecutó y validó un algoritmo robusto, preciso y exacto, para efectuar diagnósticos de *Botrytis sp.* y *Sphaerotheca sp.* en plantas de fresa del cultivar Albion a través de sus frutos usando procesamiento digital de imágenes. La ejecución de la aplicación respondió a niveles de rendimiento sobresalientes, aplicando siempre una metodología no destructiva en la adquisición de datos.

El algoritmo propuesto y ejecutado en la aplicación de usuario final (GUI), se considera una buena herramienta para biólogos, tecnólogos en horticultura y productores, que requieran una primera aproximación de monitoreo de incidencia de anomalías en las plantas de fresa, a bajo costo de ejecución y sin costos de mantenimiento.

El trabajo realizado permite efectuar futuras investigaciones para diagnosticar patógenos bajo una metodología similar, teniendo en cuenta que las herramientas de adquisición de imágenes pueden ser completamente compatibles con drones, cámaras web, diferentes cámaras digitales, tanto en cultivos de cielo abierto como aquellos cultivados bajo invernadero.

Agradecimientos

Los autores agradecen a: La Universidad Militar Nueva Granada por financiar este proyecto de iniciación científica (PIC ING - 1584) y al Biólogo Carlos Mario Grijalba Rátiva cM.Sc., por sus conocimientos y experiencia proporcionados en Horticultura, los cuales facilitaron el desarrollo de esta investigación y por los permisos concedidos para intervenir directamente en el cultivo de fresa del Campus Nueva Granada.

Literatura citada

- Asano, A., Del Fierro, R., & Grandeza, A. J. (2011). Determining the Stages of Malaria under Plasmodium Falciparum through Image Processing using EMGU Computer Vision. Philippines: Ateneo de Davao University.
- Bock, C., & Nutter Jr, F. (2011). Detection and measurement of plant disease symptoms using visible-wavelength photography and image analysis. CAB Reviews Perspectives. *Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*, 74-87.
- Camargo, A., & Smith, J. (2009). An image-processing based algorithm to automatically identify plant disease visual symptoms. *Biosystems Engineering*, 102(1), 9-21. doi:10.1016/j.biosystemseng.2008.09.030
- Douglas, D., & Peucker, T. (1973). Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 10(2), 112-122. doi:10.3138/FM57-6770-U75U-7727
- Du, C.-J., & Sun, D.-W. (2004). Recent developments in the applications of image processing techniques for food quality evaluation. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 230 - 249. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2003.10.006>
- EIMasry, G., Wang, N., ElSayed, A., & Ngadi, M. (2007). Hyperspectral imaging for nondestructive determination of some quality attributes for strawberry. *Journal of Food Engineering*, 81(1), 98-107. doi:10.1016/j.jfooodeng.2006.10.016
- Flórez Faura, R., & Mora Cabeza, R. A. (2010). Fresa (*fragaria x ananassa Duch.*) producción y manejo poscosecha. Bogotá, Colombia: Editorial Universidad Nacional de Colombia.
- Guadarrama Díaz, S. O. (2006). Guía Técnica para el Cultivo de Fresa. ICAMEX, San Antonio, México. Recuperado de http://portal2.edomex.gob.mx/icamex/investigacion_publicaciones/horticola/fresa/groups/public/documents/edomex_archivo/icamex_arch_cultfresa.pdf
- Hershberger, J., & Snoeyink, J. (1992). Speeding Up the Douglas-Peucker Line-Simplification Algorithm. 16. Recuperado de <http://www.cs.ubc.ca/cgi-bin/tr/1992/TR-92-07>

10. Hu, M. (1962). Visual Pattern Recognition by Moment Invariants. *IRE Transactions on Information Theory*, 8(2), 179-187.
11. Huang, K.-Y. (2007). Application of artificial neural network for detecting Phalaenopsis seedling diseases using color and texture features. *Computers and Electronics in Agriculture*, 57(1), 3-11. doi:57
12. Jingwen, W., & Hong, L. (2012). Measurement and analysis of plant leaf area based on image processing. *Information Technology in Medicine and Education (ITME)*, 2, págs. 1070-1074. doi:10.1109/ITME.2012.6291485
13. Lallana, V. H., & Lallana, M. (2014). Manual de Prácticas de Fisiología Vegetal. Córdoba, Argentina: Eduner. Recuperado, de <http://www.eduner.uner.edu.ar/libro/96/manual-de-practicas-de-fisiologia-vegetal>
14. Lesur, L. (2003). Manual de Fruticultura: una guía paso a paso. Colombia: Editorial Trillas. Recuperado de http://www.libreriadela.com/manual-de-fruticultura-una-guia-paso-a-paso-agropecuario-1.html#.VTAzZfmG8_w
15. Lesur, L. (2003). Manual de Horticultura: una guía paso a paso. Colombia: Editorial Trillas. Recuperado de <http://www.luislesur.com/producto.php?idproducto=7>
16. Lexus. (2007). Biblioteca de la Agricultura (Vol. II). Idea Books S.A. Recuperado de <http://todoenciclopedias.com/idea.html>
17. Lu, C., Ren, H., Zhang, Y., & Shen, Y. (2010). Leaf Area Measurement Based on Image Processing. Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2, págs. 580-582. doi:10.1109/ICMTMA.2010.141
18. Maas, J. L. (1998). Compendium of Strawberry diseases (2 ed.). (A. P. Society, Ed.) St. Paul, MN, Estados Unidos. Recuperado de <http://www.apsnet.org/apsstore/shopapspress/Pages/41949.aspx>
19. OpenCV - Miscellaneous Image Transformations. (2015). Miscellaneous Image Transformations — OpenCV 2.4.10.0 documentation. Recuperado de http://docs.opencv.org/2.4.10/modules/imgproc/doc/miscellaneous_transformations.html?highlight=hs
20. OpenCV - Structural Analysis and Shape Descriptors. (2015). Structural Analysis and Shape Descriptors - OpenCV 2.4.11.0 documentation. Recuperado de http://docs.opencv.org/modules/imgproc/doc/structural_analysis_and_shape_descriptors.html
21. Pertot, I., Kuflik, T., Gordon, I., Freeman, S., & Elad, Y. (2012). Identifier: A web-based tool for visual plant disease identification, a proof of concept with a case study on strawberry. *Computers and Electronics in Agriculture*, 84, 144-154. doi:10.1016/j.compag.2012.02.014
22. Ramer, U. (1972). An iterative procedure for the polygonal approximation of plane curves. *Computer Graphics and Image Processing*, 1(3), 244 - 256. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0146-664X\(72\)80017-0](http://dx.doi.org/10.1016/S0146-664X(72)80017-0)
23. Sankaran, S., Mishra, A., Ehsani, R., & Davis, C. (2010). A review of advanced techniques for detecting plant diseases. *Computers and Electronics in Agriculture*, 72. doi:10.1016/j.compag.2010.02.007
24. Schikora, M., & Schikora, A. (2014). Image-based Analysis to Study Plant Infection with Human Pathogens. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 12(20-21), 1-6. doi:10.1016/j.csbj.2014.09.010
25. Vandendriessche, T., Keulemans, J., Geeraerd, A., Nicolai, B., & Hertog, M. (2012). Evaluation of fast volatile analysis for detection of Botrytis cinerea infections in strawberry. *Food Microbiology*, 32(2), 406-414. doi:10.1016/j.fm.2012.08.002

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 25 de septiembre de 2014

Aceptado: 17 de noviembre de 2014

Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia

Levels and distribution of heavy metals in the water of the beach area of Riohacha, La Guajira, Colombia

Níveis e distribuição de metais pesados na água da área da praia de Riohacha, Guajira, Colômbia

Carlos Doria Argumedo¹ & Haroldo Deluque Viloria²

¹Licenciado en Química, Magister en Química, Estudiante de Doctorado en Ciencias Químicas, Universidad de La Guajira. Riohacha. Colombia. ²Ingeniero Ambiental

^{1,2} Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental.
Universidad de La Guajira Riohacha. Colombia.

¹cdoria@uniguajira.edu.co, ²hdeluque@uniguajira.edu.co

Resumen

La zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia, constituye un ecosistema muy rico, diverso y productivo, dotado de gran capacidad para proveer bienes y servicios que sostienen actividades como pesca, turismo y navegación; sin embargo, experimenta problemáticas ambientales producto de la dinámica de la ciudad, relacionadas con la infiltración de aguas residuales, acumulación de residuos sólidos orgánicos y descargue de sedimentos del río Ranchería. En la metodología de esta investigación se tomaron muestras de agua de mar en cuatro puntos de un sector de aproximadamente 2.5 km de playa, durante ocho meses en el año 2013, en épocas de lluvia y sequía. Los metales analizados fueron Cobalto, Cobre, Zinc, Aluminio, Manganese, Níquel y Hierro. Las concentraciones de los metales Ni y Zn, considerados muy tóxicos, se encontraron por encima de los niveles según la normativa nacional y algunas establecidas a nivel internacional, para efectos agudos en aguas marinas y estuarinas destinadas a la preservación de fauna y flora; las concentraciones de Cu y Zn, se

encuentran por debajo de los límites establecidos por la EEA y la EPA. La correlación significativa existente entre las concentraciones de los metales Fe, Mn, Zn, Co con los nutrientes nitrato y fosfato, indica posible acumulación de ellos en el sedimento e incluso bioacumulación en la fauna asociada a esta zona. La presencia y concentraciones de los metales son producto, principalmente, de la intervención humana en las labores de minería y en el ciclo biogeoquímico de los metales.

Palabras clave: metales pesados, agua de mar, playa de Riohacha, concentración, nitrato, fosfato

Abstract

The beach area of Riohacha, La Guajira, Colombia, is a very rich, diverse and productive ecosystem endowed with great ability to provide goods and services that support activities such as fishing, tourism and navigation; however, there are environmental problematics, product of the dynamics of the city, related to infiltration of wastewater,

accumulation of organic solid waste and discharge of sediments of the Rancheria River. On the methodology of this research sea water samples were taken at four points of a sector of approximately 2.5 km from the beach, for eight months in the year 2013, in times of rain and drought. The metals analyzed were cobalt, copper, zinc, aluminum, manganese, nickel and iron. The concentrations of the metals Ni and Zn, considered highly toxic, were found above the levels according to national rules and some established at international level, for acute effects in marine waters and estuarine intended for the preservation of fauna and flora; the concentrations of Cu and Zn, are below the limits established by the EEA and the EPA. The significant correlation between the concentrations of Fe, Mn, Zn, Co metals with nutrient nitrate and phosphate, it indicates possible accumulation of them in sediments and bioaccumulation in the fauna associated with this area. The presence and concentrations of metals are product, primarily, due to human intervention through mining and metals's biogeochemical cycle.

Key-words: heavy metals, sea water, beach of Riohacha, concentration, nitrate, phosphate

Resumo

A área da praia de Rioacha, Guajira, Colômbia, constitui um ecossistema rico, diverso e produtivo, dotado de grande capacidade para prover bens e

serviços que sustentam atividades como pesca-ria, turismo e navegação; no entanto, experimenta problemáticas ambientais decorrentes da dinâ-mica da cidade relacionadas com a infiltração de águas residuais, acumulação de resíduos sólidos orgânicos e descarregamento de sedimentos do rio Ranchería. Na metodologia desta pesquisa, se tomaram amostras de água de mar em quatro pon-tos de uma área aproximada de 2.5 km de praia durante oito meses em 2013, tanto em épocas de chuva como de sequia. Os metais analisados foram cobalto, cobre Zinco, alumínio, manganês, níquel e ferro. As concentrações dos metais Ni e Zn, considerados muito tóxicos, encontraram-se acima dos níveis permitidos segundo a normativa nacional e algumas estabelecidas a nível interna-cional, para os efeitos agudos em águas marinhas e estuarinas destinadas à preservação da fauna e flora. As concentrações de Cu e Zn encontram-se abaixo dos limites estabelecidos pela EEA e a EPA. A correlação significativa existente entre as concentrações dos metais Fe, Mn, Zn, Co e os nutrientes nitrato e fosfato, indica possível acumula-ção destes no sedimento e incluso bioacumu-lação na fauna associada a esta zona. A presença e concentrações dos metais são produto, princi-palmente, da intervenção humana em explorações mineiras e do ciclo biogeoquímico dos metais.

Palavras-chave: metais pesados, água de mar, praia de Rioacha, concentração, nitrato, fosfato

Introducción

Los factores causantes de mayor deterioro en los ecosistemas marinos costeros en Colombia se deben a fenómenos tanto naturales como antropogénicos, entre los que se encuentran una excesiva sedimentación, las anomalías climáticas, la acumulación de contaminantes y basuras, la interrupción de los flujos bioenergéticos, la sobre-explotación de los recursos, la utilización de artes de pesca altamente destructivas y las actividades turísticas (Garay *et al.*, 2001). Específicamente las

áreas costeras del departamento de La Guajira (norte de Colombia), presentan constante alte-ración de sus propiedades naturales como con-secuencia del vertimiento continuo de desechos domésticos e industriales. Las aguas residuales domésticas carecen de tratamiento y son descar-gadas al mar a través de los ríos o directamente a éste, causando una importante disminución en la calidad de las aguas marino-costeras (UNEP-RCU/CEP, 2010). En definitiva, una gran cantidad

de compuestos químicos y mezclas complejas de éstos, son vertidos directamente al mar (PNUMA, 1999). La contaminación por metales pesados se ha constituido en una de las formas más peligrosas para los ecosistemas acuáticos, dado que son elementos poco o nada biodegradables, tienden a acumularse en los tejidos de animales y vegetales acuáticos, y permanecen en ellos por largos períodos, desencadenando procesos de biomagnificación y acciones toxicodinámicas, las cuales generan alteraciones metabólicas, mutaciones y transformaciones anatómicas en las especies animales, incluido el hombre (Panebianco, 2011).

Un renglón importante de la economía de la Guajira es la ganadería: vacunos, porcinos, equinos, mulares, asnales, caprinos y ovinos; la pesca, especialmente de mariscos, tortugas y perlas se realiza en forma artesanal. Además constituyen el hábitat de alimentación, anidación y descanso para diferentes especies marinas y un lugar de recolección artesanal de recursos marinos (Alcaldía Mayor de Riohacha, 2008). Es importante la explotación forestal de añaíl, caoba, cedro, dividivi, guayacán, mangle, roble, totumo. Carece de industria manufacturera (Espeleta, 2000). Según el censo 2005 (DANE, 2005) la actividad económica predominante es el comercio (52%), el segundo renglón económico de la ciudad es el de los servicios (30%), y luego hay otras actividades (10%) y la Industria (8%).

El departamento de La Guajira es una zona muy importante del Caribe colombiano, donde se realizan múltiples actividades socioeconómicas en diversos sectores productivos, que fomentan el desarrollo de su población. Estas actividades productivas y los asentamientos humanos generan residuos que, en mayor o menor medida, son las potenciales fuentes contaminantes del agua y los recursos naturales, si éstos no son manejados y dispuestos de forma adecuada para reducir el deterioro ambiental. La minería del carbón se presenta como una actividad que afecta de forma directa a los factores ambientales, con resultados críticos en los pastizales y praderas, la

contaminación atmosférica, la diversidad de especies, las cadenas alimentarias, el uso y la contaminación del suelo y de los asentamientos antrópicos cercanos. Este tipo de minería se realiza a cielo abierto, produciendo impactos cuando se quita la cubierta de material estéril o capa vegetal que cubre la roca carbonífera para extraer el carbón, emitiendo partículas finas a la atmósfera; la mayor concentración está en la zona de explotación, los patios de acopio y las carreteras de ingreso a las mina; también se hacen descargas de agua de la minería hacia los cursos de agua natural; en épocas de lluvia, la escorrentía llega más rápido al río Ranchería sin regulación de caudales por no tener cobertura vegetal, sino una red de canales de drenaje, presentando efluentes con trazas de nitrato de amonio de la planta de explosivos, y aguas residuales de la planta de lavado de equipos con contenidos de grasas, aceites, trazas de combustible y carbón mineral.

Se presente investigación fue llevada a cabo para determinar la presencia de algunos metales pesados en las aguas de la zona de playa de la ciudad de Riohacha (La Guajira), con el objeto de conocer las rutas de estos contaminantes y su interacción con otras sustancias presentes en las aguas costeras. La zona investigada contiene ecosistemas muy ricos, diversos y productivos dotados de gran capacidad para proveer bienes y servicios que sostienen actividades como la pesca, el turismo, la navegación, el desarrollo portuario, la explotación minera y donde se dan asentamientos urbanos e industriales.

Materiales y métodos

El estudio fue realizado en la ciudad de Riohacha, ubicada en la parte central izquierda del departamento de La Guajira, latitud: 11°33'09.29" N - longitud: 72°54'33.20" O. Una altitud de 10 msnm, con 28°C y 35%, de temperatura y humedad relativa promedio respectivamente. Esta área limita al norte con el mar Caribe, al oriente con el río Ranchería, los municipios de Manaure y Maicao, por

el sur con los municipios de Hato Nuevo, Barrancas, Distracción, San Juan del Cesar y por el occidente con el municipio de Dibulla y el mar Caribe (Figura 1). La ciudad está situada entre la orilla del mar Caribe y la ribera occidental del delta del río Ranchería, específicamente del brazo El Riito. El

ecosistema corresponde a selva seca constituida por matorrales, bejucos, cactáceas y árboles de hojas compuestas, entre otros. Cerca de la costa, por efecto de desertización, el terreno es árido y el suelo arenoso. Al sur de la ciudad, el ecosistema es típico de sabana seca.



Figura 1. Ubicación geográfica de la ciudad de Riohacha (La Guajira, Colombia)

Entre marzo y diciembre del 2013 se realizaron un total de ocho campañas de seguimiento con dos puntos de muestreo en cada una de las cuatro estaciones investigadas a lo largo de un sector de aproximadamente 2,5 km de la playa de Riohacha (Figura 2).



Figura 2. Estaciones de muestreo de metales pesados en la zona de playa de Riohacha (La Guajira, Colombia)

Para el análisis de los metales se tomaron 500 mL de muestra mixta formada por tres submuestras colectadas a diferentes profundidades, una aproximadamente a 20 cm del fondo, otra a la mitad de la columna de agua y la última a 10 cm desde la superficie (Garay *et al.*, 2003). Estas fueron colectadas con una botella muestradora de fondo horizontal y almacenadas en frascos de polietileno previamente lavados con una solución al 5% de HNO₃ y enjuagados con agua desionizada. En el laboratorio las muestras fueron filtradas al vacío (filtro Whatman de fibra de vidrio 0.45 µm, 0.47mmØ y acidificadas con HNO₃ hasta pH 2.0 y refrigeradas a 4.0 °C (APHA-AWWA-WPCF, 2005), hasta posterior digestión y análisis por espectrofotometría de absorción UV-Visible (Espectrofotómetro HACH DR 5000). El muestreo para el análisis fisicoquímico fue realizado de la misma manera, pero sin acidificación. Se llevaron a cabo tres réplicas para cada muestra de agua. Los análisis realizados en campo correspondieron a los parámetros temperatura del agua, pH, Oxígeno Disuelto, conductividad eléctrica y en el laboratorio se midieron los parámetros de Nitrato, Amonio, Fosfato y metales (Fe, Cu, Ni, Mn, Al, Zn, Co).

Resultados y discusión

Las condiciones fisicoquímicas del agua de mar en cuanto a los valores de pH con promedio de 8,22, oxígeno disuelto de 4,76 mg/L y conductividad de 57150 µS/cm; son acordes con estos tipos de agua y considerados normales para esta región, además se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos por la legislación colombiana (Decreto 1594 de 1984). Las concentraciones promedio de los metales en el agua de mar, obtenidas en la zona de muestreo de la playa de Riohacha se indican en la Tabla 1. La distribución en cuanto a la concentración de los metales pesados (mg/L) disueltos en las muestras en forma decreciente fueron: Co>Mn>Fe>Ni>Zn>Cu. Las concentraciones de Cu y Zn teniendo en cuenta la consideración como metales ligeros y tóxicos, se

encuentran por debajo de los límites establecidos por la EEA y la EPA (EPA, 1999), los bajos niveles de estos metales en las aguas se explican por su baja solubilidad y la tendencia natural a precipitar y acumularse en los sedimentos (Perales, Garrido & Ramírez, 2012). Las concentraciones de los metales Ni y Zn considerados muy tóxicos, aparecen por encima de los niveles para efectos agudos en aguas marinas y estuarias para preservación de fauna y flora a nivel nacional (Ministerio de Salud, 1984) y referenciadas a nivel internacional (Buchman, 2008 y CONAMA, 1986).

Tabla 1. Concentraciones promedio (mg/L) de metales en agua, en zonas de muestreo de la playa de Riohacha (La Guajira, Colombia)

Estaciones	Al (mg/L)	Mn (mg/L)	Co (mg/L)	
E1	<0.008	0.112	0.500	
E2	<0.008	0.130	0.480	
E3	<0.008	0.096	0.462	
E4	<0.008	0.116	0.475	
Promedio	<0.008	0.113	0.479	
Estaciones	Ni (mg/L)	Zn (mg/L)	Fe (mg/L)	Cu (mg/L)
E1	0.067	0.06	0.41	0.010
E2	0.074	0.04	0.08	0.016
E3	0.069	0.03	0.06	0.024
E4	0.056	0.04	0.04	0.036
Promedio	0.066	0.04	0.14	0.021

Las altas concentraciones de Mn pueden deberse a la desorción de este metal en la superficie del material particulado suspendido por el intercambio con los cationes Na⁺ y K⁺ presentes en el agua de mar, ya que el Mn se encuentra principalmente adsorbido en la superficie de las partículas o como oxihidróxidos reactivos (Martínez & Senior, 2001). Márquez (1997) reporta distribuciones no conservativas de este elemento, señalando que las pérdidas de manganeso pueden ocurrir por oxidación

del Mn(II) a Mn(IV) con la formación de material en suspensión durante la mezcla estuarina.

La presencia de los metales en el agua de mar tiene su origen antropogénico materiales incorporados por arrastre del río Ranchería (minería, usos de fertilizantes, aguas residuales domésticas), y de manera general por la intervención humana en el ciclo biogeoquímico de los metales. Riohacha y las poblaciones que conforman la cuenca del río Ranchería albergan un total de 244.804 habitantes los cuales producen 241 t/día de residuos sólidos, 43.260 m³/día de aguas residuales domésticas cargadas con 2.955 t/año de materia orgánica en términos de DBO₅ y de 5.909 t/año de DQO, además con 709 t/año de nitrógeno; 47 t/año de fosfatos; 2.955 t/año de sólidos suspendidos totales y 1.2E+19 NMP/año de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Las mayores cargas de contaminantes domésticas son producidas por la localidad de Riohacha que genera 1.928 t/año de DBO₅, 3.855 t/año de DQO, 463 t/año de nitrógeno, 1.928 t/año de sólidos suspendido, 31 t/año de fósforo total y 7.7E+18 NMP/año de coliformes (Doria *et al.*, 2013)

Según Otero (2013) el 40.5% del suelo de la cuenca del río Ranchería está destinado para el uso ganadero, el 0.8% para uso agrícola, y el 1.5% para actividades mineras. En detalle, la minería se ha convertido en el principal eslabón de la economía guajira. Según los datos del PIB departamental de 2011, este rubro representó el 58% del total del valor agregado producido en el departamento, dejando rezagados a otros rubros como la agricultura y diversas actividades industriales. (Otero, 2013)

Con base en la época de muestreo, se observa que las concentraciones de los metales en el agua de mar son mayores en el período seco (meses de junio y julio) que en el de lluvias, esto debido a que la reducción del volumen de agua facilita la solubilización de los metales y se concentran los iones y materiales en el sistema, al disminuir el caudal del río Ranchería. En detalle, el delta constituye la zona de amortiguamiento hidráulico del río Ranchería, considerado como uno de los cuerpos de agua de

mayor importancia. Su caudal, directamente relacionado con la distribución anual de la precipitación, alcanza un valor mínimo anual de 2.9 m³s⁻¹ y un máximo de 30.0 m³s⁻¹, e incluso en los meses de marzo, abril, junio y agosto, la falta de lluvia hace que quede seco (Polania, Orozco & Ángel, 2006).

El análisis de varianza realizado para las concentraciones de los metales en las épocas secas y de lluvias, muestra diferencias significativas para todos los metales ($p<0.05$). Se observa una mayor concentración de los metales en la estación E1, a excepción del Cu que se concentra mayormente en la E4 (Figura 3), así mismo se observa que en la estación E1 el pH y las concentraciones de Nitrato y Fosfato son mayores que en el resto de la zona de la playa (Tabla 2, Figura 4), esta situación puede depender del hecho de que esta zona se caracteriza por el sistema manglárico y la influencia hídrica del brazo Calancala el cual forma pequeños estanques de agua en donde se observan procesos de degradación orgánica. Se tiene en cuenta además la disposición de residuos sólidos en la cuenca del río Ranchería; los vertederos de residuos sólidos constituyen otro elemento que impacta el ambiente porque perturban principalmente factores estéticos con importancia de afectación crítica para el uso y erosión del suelo, olor y visibilidad, la interfase aguatierra y comunidades cercanas. El 50% de los residuos sólidos generados en las viviendas son recogidos por el servicio de aseo, el 25% son quemados, el 14% disponen en patio, lote, zanja (llamados bota-deros satélite), el 4% se entierra y el 7% es arrojado a cuerpos de agua. (Doria *et al.*, 2013)

El pH básico de la E1 (8.60) afecta la especiación química y la movilidad de los iones, permitiendo así su mayor presencia en esta zona de la playa, ya que al aumentar progresivamente los iones OH, los metales forman diferentes especies hidroxiladas solubles: Zn(OH)₂, Co(OH)₂, Co(OH)₃, Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, Mn(OH)₂, Mn(OH)₄ (Marrugo & Negrete, 2011) (Contreras, Mendoza & Gómez, 2004). Las mayores concentraciones de Nitrato (17.9 µg/L) y Fosfato (29.45 µg/L) en la estación E1 indican la abundancia de materia orgánica en esta zona de

la playa de origen vegetal, producto de la dinámica del manglar, y por ende mayor retención de los iones metálicos (ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, quelantes) por la formación de complejos solubles e insolubles. Esta situación guarda concordancia con el estudio de Martinez, Senior & Márquez (2006), el cual establece que las aguas del río Manzanares (Venezuela) ricas en materia orgánica de origen vegetal, al descomponerse producen ácidos húmicos tales como el fúlvico, el cual puede complejarse con los metales pesados que se encuentran libres e hidratados en el agua del ecosistema.

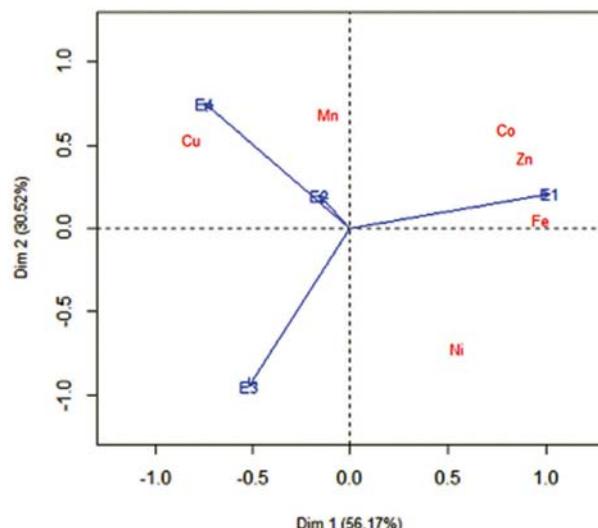


Figura 3. Distribución espacial de los metales en las zonas de muestreo de la playa de Riohacha (La Guajira, Colombia)

Tabla 2. Valores promedio de pH y concentraciones de nutrientes del agua de mar en zonas de muestreo de la playa de Riohacha (La Guajira, Colombia)

Estación	pH	Nitrato (µg/L)	Fosfato (µg/L)
E1	8.60	17.90	29.45
E2	8.47	14.30	17.10
E3	8.40	10.58	25.00
E4	8.40	6.08	15.34
Promedio	8.46	12.21	21.72

La concentración de Ni aparece con poca variabilidad en las diferentes estaciones de muestreo, debido a su gran capacidad de disolución en agua y la poca tendencia a formar complejos químicos con la materia orgánica, lo que permite su gran movilidad.

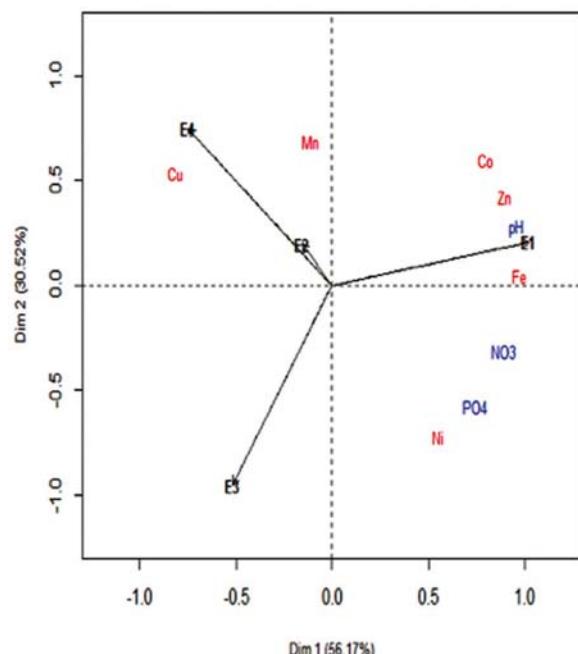


Figura 4. Distribución espacial de los metales, pH y nutrientes en las zonas de muestreo de la playa de Riohacha (La Guajira, Colombia)

El pH parece estar jugando un papel importante en la distribución y precipitación del zinc disuelto en la zona de la playa. Hahne & Kroontje (1973) señalaron que este metal se hidroliza a pH mayores de 7.0, formando compuestos de hidróxido de gran estabilidad a pH superior a 8.0.

Los valores de pH del agua por encima de 7.0 influyen en la poca biodisponibilidad de Cu reflejándose en sus concentraciones bajas en comparación con los otros metales. Paulson, Curl & Cokelet (1991) señalaron que la descomposición de la materia orgánica y el intercambio de iones controlan la liberación de alrededor de una tercera parte del Cu enlazado a partículas superiores a 53 µmol L⁻¹ mientras que las más pequeñas liberan alrededor del 5 % del Cu disuelto en agua de mar artificial, con concentraciones de metal muy bajas.

Finalmente cabe destacar cómo la investigación realizada permite definir que existe un riesgo para la pesca y el hombre dado que los peces se alimentan, entre otras fuentes, de los nutrientes contenidos en los sedimentos. Así, los metales pesados contenidos en los sedimentos se bioacumulan en los peces ocasionando implicaciones serias para la salud de la franja de población que consume los productos de la pesca de esta zona. Además estos compuestos químicos sufren una amplificación biológica, es decir su concentración se incrementa a lo largo de la cadena trófica.

Se deduce también que las principales causas de contaminación son las actividades realizadas por la comunidad guajira en la cuenca del río Ranchería, donde se concentran los principales núcleos industriales y urbanos de esta región de Colombia. Así, es de gran interés e importancia para las autoridades ambientales, locales y regionales, establecer un programa de monitoreo y control continuo de la contaminación por metales en el medio marino y a lo largo del río Ranchería.

Conclusiones

La concentración de los metales Ni y Zn considerados muy tóxicos, se encuentran por encima de los niveles para efectos agudos en aguas marinas y estuarinas para preservación de fauna y flora a nivel nacional (Decreto 1594 de 1984) y referenciadas a nivel internacional (Buchman, 2008; Conama, 1986).

La presencia de los metales en el agua de mar tiene su origen antropogénico por elementos incorporados por arrastre del río Ranchería (minería, usos de fertilizantes, aguas residuales domésticas)

La presencia y concentraciones de los metales es producto de la intervención humana en las labores de minería, en el ciclo biogeoquímico de los metales. Dentro de las actividades antrópicas, la minería de carbón a cielo abierto genera mayores impactos al medio ambiente que la minería

subterránea; no solo afecta el interior de las minas, sino también a las áreas de influencia externas.

La correlación significativa existente entre las concentraciones de los metales Fe, Mn, Zn, Co con los nutrientes nitrato y fosfato, indica que puede haber acumulación de ellos en el sedimento e incluso bioacumulación en la fauna asociada a esta zona

La dinámica de metales pesados entre las estaciones estuvo sujeta a variaciones espaciales y temporales, como resultado de los cambios en la magnitud de la escorrentía terrestre, erosión del suelo y fuentes de contaminación metálica.

Literatura citada

1. Alcaldía Mayor de Riohacha. (2008). Plan de Desarrollo 2008-2011. Sector Agropecuario. Acuerdo N.005 de 2008. Oficina Asesora de Planeación Municipal. Riohacha
2. APAHA-AWWA- WPCF (American Public Health Association Water Works Association and Water Pollution Control Federation). (2005). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 21Ed. New York.
3. Buchman, M.F. (2008). Screening Quick Reference Tables (SQuaRTs). NOAA OR&R report 08-1 Seattle W.A, office of response and restoration division, national oceanic and atmospheric administration.
4. CONAMA-Consejo Nacional del Medio Ambiente de Brasil. (1986). Resolución CONAMA No 20 del 18 de junio de 1986.
5. Contreras, J., Mendoza, C. & Gómez, A. (2004). Determinación de metales pesados en aguas y sedimentos del Río Haina. *Ciencia y Sociedad*. 2004, vol 29 (1), pp 38-71.
6. DANE- Departamento Administrativo Nacional de Estadística. (2005). Censo General 2005- información básica DANE. Colombia. Recuperado de: <http://www.dane.gov.co>
7. Doria, C., Vivas, L., López, A., Deluque, H. & Freile, E. (2013). Determinación de fuentes terrestres de contaminación en la zona costera de La Guajira. Colombia. Memorias VI Conferencia Internacional de Manejo Integrado de Zonas Costeras-CARICOSTAS. Santiago de Cuba. Cuba.
8. EPA. Environmental Protection Agency of US. (1999). National Recommended Water Quality Criteria Correction. U.S. EPA, 401M.Street, S.W. Washington.
9. Espeleta, B. (2000). La verdadera historia de Riohacha: el por qué Nicolás de Federmann no la fundó. Aarón Impresores. Riohacha
10. Garay, J., Marín, B., Ramírez, B., Vélez, A., Troncoso, W., Lozano, H., Acosta, J., Cadavid, B., Lancheros, A.,

- Medina, O. & Rondón, M. (2001). Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico Colombiano. Red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costera de Colombia – REDCAM. Informe técnico final, INVEMAR. Santa Marta.
11. Garay, J., Ramírez, G., Betancourt, J., Marín, B., Cadavid, B., Panizzo, L., Lesmes, J., Sánchez, H. & Franco, A. (2003). Manual de Técnicas Analíticas para la determinación de Parámetros y Físico-químicos y Contaminantes Marinos: Aguas, Sedimentos y Organismos. INVEMAR. Serie Documentos Generales No 13. Santa Marta
12. Hahne, H. & Kroontje, W. (1973). Significance of pH and chloride concentration in behavior of heavy metals pollutants: mercury (II), cadmium (II), zinc (II) and lead (II). *J. Environ. Qual.* 1973, vol 2, pp 444-448.
13. Márquez A. (1997). Comportamiento y distribución de algunos metales pesados en fracciones disueltas y particuladas en aguas superficiales del Río Manzanares, Estado Sucre, Venezuela. Tesis de pregrado, Licenciatura en Química, Escuela de Ciencias, Universidad de Oriente, Venezuela.
14. Marrugo J. & Negrete, R. (2011). Evaluación de la contaminación por metales pesados en la Ciénaga La Soledad y Bahía de Cispatá, cuenca del Bajo Sinú, departamento de Córdoba. Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Química. Universidad de Córdoba. Montería.
15. Martínez, G., Senior, W. & Márquez, A. (2006). Especiación de metales pesados en la fracción disuelta de las aguas superficiales de la cuenca baja y La pluma del río Manzanares. Estado Sucre. Venezuela. *Ciencias Marinas*. 2006, vol 32(2), pp 239-257.
16. Martínez, G. & Senior, W. (2001). Especiación de metales pesados (Cd, Zn,Cu y Cr) en el material en suspensión de la pluma del Río Manzanares, Venezuela. *Interciencia*. 2001, vol 26, pp 53-61
17. Ministerio de Salud. (1984). Decreto No 1594 del 26 de Junio. Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9 de 1979, así como el Capítulo II DEL Título IV –parte III-Libro II y el Título III de la parte III – Libro I del decreto –Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Colombia.
18. Otero, A. (2013). Rio Ranchería: Entre la economía, la biodiversidad y la cultura. Documentos de trabajo sobre economía regional. Banco de la República. Centro de Estudios Económicos Regionales CEER. Cartagena.
19. Panebianco, M. (2011). Análisis de los niveles de metales pesados (Pb, Cu, Cr, Zn, Ni y Cd) y aspectos reproductivos del delfín franciscana (*Pontoporia blainvilliei*). Tesis doctoral. Universidad de Buenos Aires. Argentina. 2011.
20. Paulson AJ; Curl HC Jr; & Cokelet ED. (1991). Remobilization of Cu from marine particulate organic matter and from sewage. *Mar.Chem.* 1991, vol 33, pp 41–60.
21. Perales J., Garrido, C. & Ramírez, M. (2012). Definición y desarrollo de controles de investigación para determinar la magnitud de la contaminación accidental y de los impactos producidos por episodios contaminantes en el litoral andaluz. Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente. Universidad de Cádiz. Informe final, Puerto Real.
22. PNUMA-Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (1999). XII Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Bridgetown, Barbados.
23. Polanía J., Orozco, C. & Ángel, I. (2006). Delta del Río Ranchería (La Guajira, Colombia): Caudal, Salinidad y Transporte de sólidos y su posible influencia sobre composición y estructura de los manglares. *Actual Biol.* 2006, vol 28(84), pp 27-37.
24. UNEP-RCU/CEP. (2010). Actualización del informe técnico del PAC No 33 fuentes y actividades en la región del Gran Caribe. Cargas contaminantes domésticas e industriales y el aporte de las cuencas hidrográficas tributarias. Informe técnico del programa ambiental del Caribe UNEP-PAC-CIMAB.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 4 de junio de 2014
 Aceptado: 15 de julio de 2014

Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia.

Transmission systems of Ethnobotanical knowledge of edible wild plants in Turbo, Antioquia, Colombia.

Sistemas de transmissão de conhecimento etnobotânico de plantas silvestres comestíveis em Turbo, Antioquia, Colômbia.

Ramón Antonio Mosquera Mena¹, Tomás Santamaría Polo² & Juan Carlos López Almansa³

¹Ingeniero Agroforestal, Especialista en Pedagogía para el Desarrollo del Aprendizaje Autónomo, Magíster en educación con énfasis en Educación Virtual, Doctor en Desarrollo Sostenible. ²Técnico en Medio Ambiente, Magíster en Gestión Ambiental, Doctor en Ciencias Biológicas.
³Ingeniero de Montes, Doctor en Ciencias Biológicas.

^{1,3}Facultad de Desarrollo Sostenible. ²Vicerrectoría de doctorado y posgrado.
^{1,2,3}Universidad Católica de Ávila. España.

¹ramosquera01@gmail.com, ²jcarlos.lopez@ucavila.es, tomas.santamaria@ucavila.es

Resumen

Los diferentes estudios etnobotánicos y etnoecológicos, muestran no solo la gran riqueza de recursos naturales que muchas comunidades han aprovechado de manera sostenible en el tiempo, si no también, la preocupación por la falta de sistematización del conocimiento debido a diferentes situaciones que lo dificultan. Esta investigación tiene como propósito mostrar los diferentes sistemas de transmisión del conocimiento que los habitantes del municipio de Turbo, Antioquia, Colombia, han utilizado para que las generaciones presentes y futuras reconozcan las plantas silvestres comestibles, lo cual es útil para tomar decisiones frente a la necesidad de sistematización del conocimiento de la biodiversidad local. Se utiliza una metodología que comprende las etapas de diseño de la encuesta etnobotánica, la aplicación de la misma teniendo en cuenta el tamaño de la población lo que arroja un total de 360 encuestas aplicadas en

los 18 corregimientos del municipio, agrupados en cuatro sectores fisiográficos: Serranía, Litoral, Abanico Aluvial y Planicie Inundable. Los resultados muestran las formas de transmisión de conocimiento en cada uno de los corregimientos que componen la geografía del territorio, evidenciando que continúan primando sistemas de transmisión oral con muy baja sistematización y con un desinterés de la población joven por reconocer dichos recursos orientados a la preservación como fuente de alimento.

Palabras clave: Etnobotánica, plantas silvestres, plantas comestibles, biodiversidad.

Abstract

Diverse ethno-botanical and ethno-ecological studies, have showed not only the wealth of natural resources that many communities have taken

advantage of them sustainably over time, but also, the concern for the lack of systematization of the knowledge due to different situations that make difficult it. This research aims to show the different systems of transmission of knowledge which have been used by the inhabitants of the municipality of Turbo, Antioquia, Colombia, so that present and future generations can recognize edible wild plants, useful to make decisions demonstrating the necessity of systematization of the knowledge of the local biodiversity. It was used a methodology that includes the stages of design of the ethno-botany survey, their application taking into account the size of the population resulting in a total of 360 surveys implemented in the 18 districts of the municipality, grouped into four physiographic areas: mountain, coast, alluvial fan and flood plain. Results showed the forms of transmission of knowledge in each of the jurisdictions that make up the geography of the territory, demonstrating that they continue giving priority to systems of oral transmission with low systematization and also there is a disinterest of youth recognizing these resources as a source of food preservation-oriented.

Keywords: Ethno-botany, wild plants, edible plants, biodiversity.

Resumo

Diferentes estudos etnobotânicos e etnobiológicos mostram não apenas a grande riqueza dos

recursos naturais que muitas comunidades têm aproveitado de forma sustentável ao longo do tempo, mas também a preocupação pela falta de sistematização do conhecimento em razão de diferentes situações que o tornam difícil. Esta pesquisa tem como objetivo mostrar os diferentes sistemas de transmissão do conhecimento que os moradores do município de Turbo, Antioquia, Colômbia, têm utilizado para que as gerações presentes e futuras reconheçam as plantas selvagens comestíveis, o qual é útil na tomada de decisões perante a necessidade de sistematizar o conhecimento sobre a biodiversidade local. É usada uma metodologia que envolve as etapas de delineamento e execução de entrevistas etnobotânicas, as quais levaram em consideração o tamanho da população, tendo um total de 360 entrevistas realizadas, em 18 bairros do município, agrupados em quatro setores fisiográficos: *Serranía, Litoral, Abanico aluvial y Planicie inundable*. O estudo mostra as formas de transmissão do conhecimento em cada um dos bairros que compõem a geografia do território, mostrando que continuam prevalecendo os sistemas de transmissão oral com pouca sistematização e falta de interesse da população jovem em reconhecer ditos recursos como fonte de alimento.

Palavras-chave: Etnobotânica, plantas selvagens, plantas comestíveis, biodiversidade.

Introducción

La Etnobotánica se considera como la ciencia que estudia las relaciones que existen entre las plantas y el ser humano, el objetivo de ésta, es indagar el conocimiento que poseen algunos grupos sobre las propiedades de las plantas que se encuentran cerca a sus comunidades y que son utilizadas en sus hogares para diferentes fines (Ansalani, 2001).

El término etnobotánica, ha pasado de conocerse como el estudio del conocimiento ecológico

y la forma de adaptación y modificación del hábitat de las plantas, al estudio de conocimientos ecológicos locales; debido a que en las investigaciones actuales la etnobotánica se focaliza en temas como: sistemas locales de conocimiento ecológico, relaciones entre diversidad biológica y diversidad cultural, entre otros (Cerón, 1999), estos estudios incluyen información sobre el clima, la flora y la fauna, referenciando los cambios que estos sistemas han tenido con la evolución de la humanidad (Phillips & Gentry, 1993).

Hoy en día son muchas las investigaciones etnobotánicas que se adelantan en diferentes partes del mundo, con el propósito de conocer cómo el hombre utiliza los recursos naturales para su supervivencia, identificando y usando especies vegetales para alimento, ornamentos, industria, medicina, entre otros, logrando con estas prácticas el desarrollo sociocultural de sus comunidades.

El conocimiento que poseían las civilizaciones primitivas sobre el uso de las especies vegetales ha pasado de generación en generación, a través de enseñanzas, generalmente de padres a hijos; la utilización de prácticas tradicionales y el uso y manejo de los recursos naturales es de gran importancia para realizar investigaciones más profundas y verificables a partir de las formas en que los pueblos tradicionales se han relacionado con la naturaleza mediante creencias, conocimientos y prácticas, sin ocasionar alteraciones representativas al medio ambiente (Trujillo, 2010).

Los aportes de la etnobotánica, también hacen énfasis en el rescate de los saberes tradicionales como base para nuevos elementos de estudios orientados a la botánica económica, fitoquímica, biotecnología, entre otras disciplinas (Ramos, Ávila & Morales, 2007; Berlin, Breedlove & Raven, 1966). Lo que esta interdisciplina propone, es recuperar la estabilidad ecológica a partir de las técnicas que utilizan los agricultores tradicionales para manejar, conservar el suelo y los recursos naturales, con fin de contrarrestar los efectos secundarios que está padeciendo la población actual a causa de las alteraciones ambientales que el hombre ha provocado por las malas prácticas en la utilización de los recursos naturales (Ramos, Ávila & Morales 2007; Lee, 1979).

Lo más destacable de la etnobotánica, es su dedicación a la recuperación y estudio del conocimiento que las sociedades, etnias y culturas de todo el mundo, poseen sobre las propiedades de las plantas y su utilización en todos los ámbitos de la vida. La información que aporta esta ciencia, va más allá del estudio del entorno natural,

ya que además procura comprender su objeto de estudio en tanto patrimonio etnográfico cultural, material e inmaterial, resultando de gran utilidad y aplicación para el cuidado y conservación de los recursos fitogenéticos ligados a la subsistencia de los pobladores, el fortalecimiento y desarrollo de comunidades locales y, en particular, del área de la salud, cuando involucra el estudio de las plantas medicinales (Usma, 2003).

En los países de América Latina, la etnobotánica ha sido útil para el aprovechamiento de especies cultivadas a nivel mundial, algunas de ellas son tomate (*Solanum lycopersicum*), calabaza (*Cucurbita pepo L*), maíz (*Zea mays*), aguacate (*Persea americana*), guanábana (*Annona muricata*), que debido a las condiciones ambientales presentes en estas zonas del mundo, permitieron el desarrollo de estas plantas silvestres, las cuales han sido aprovechadas como alimentos, preparadas y consumidas de diversas formas y también en usos medicinales de vital importancia para las poblaciones alejadas de las comunidades o en zonas donde no había asistencia médica.

Conforme a lo anterior, puede notarse cómo diferentes autores se han dedicado a la realización de estudios etnobotánicos tendientes a la sistematización y visualización del conocimiento tradicional de diferentes poblaciones, como el caso de Yaroslava, (2002) quien adelantó en la sierra norte de México un estudio en el cual por medio del uso de entrevistas abiertas a agricultores, encontró más de 20 especies que guardan reservas subterráneas utilizadas por los pobladores con regularidad en su alimentación, reseñando que esta reserva es usada prioritariamente en épocas de escasez de otros alimentos tradicionales; dichas especies se encuentran en diferentes ecosistemas y aportan especialmente carbohidratos .

Continuando en México, como uno de los países de América que publica mayor cantidad de estudios en esta materia, se encuentra que Díaz & Gispert (2000), relacionan en una región de Veracruz (Balzapote), las especies que la comunidad reconoce

y usa en la alimentación y analizan los cambios que se presentan en dicha comunidad debido a la transformación de la estructura ecosistémica y la introducción de otros productos en la dieta común; en tal sentido, su estudio identifica 106 especies de uso alimenticio, las cuales corresponden a 92 géneros y 47 familias botánicas, éstas se estudiaron en los siguientes biomas transformados: huertos: 105 especies, milpa: 8 y potreros: 11 especies.

De otro lado, un estudio de Correa (2004) realizado en la Amazonía ecuatoriana, muestra la identificación de 71 plantas de uso alimenticio en la comunidad Quichua del Río Yasuní, para lo cual entrevista a siete personas de la comunidad, consideradas como expertas y utiliza parcelas demostrativas para la identificación de las plantas encontradas.

Este conocimiento tradicional identificado en el área, es transmitido de generación en generación a través de sistemas poco desarrollados, con muy poca sistematización y con alto grado de posibilidad de pérdida ya que depende de la capacidad

de la comunidad para llevar la información de voz a voz (Granzow de la Cerda, 1993).

Metodología

El municipio de Turbo se encuentra localizado al norte del departamento de Antioquia (Colombia), en la llamada zona del Urabá antioqueño. El municipio se encuentra bañado por el mar Caribe y el río Atrato. Tiene una extensión de 3.055 km². Limita al norte con el mar Caribe y el municipio de Necoclí; al este con los municipios de San Pedro de Urabá y Apartadó, y con el departamento de Córdoba; al sur con los municipios de Carepa, Chigorodó y Mutatá, y al oeste con el departamento del Chocó como se aprecia en la Figura.1.

Su población total es de 122.780 habitantes (47.747 en la zona urbana) (DANE 2005). Se encuentra a una altitud promedio de 2 msnm con una temperatura media de 28°C y una precipitación media anual de 1.925 mm.

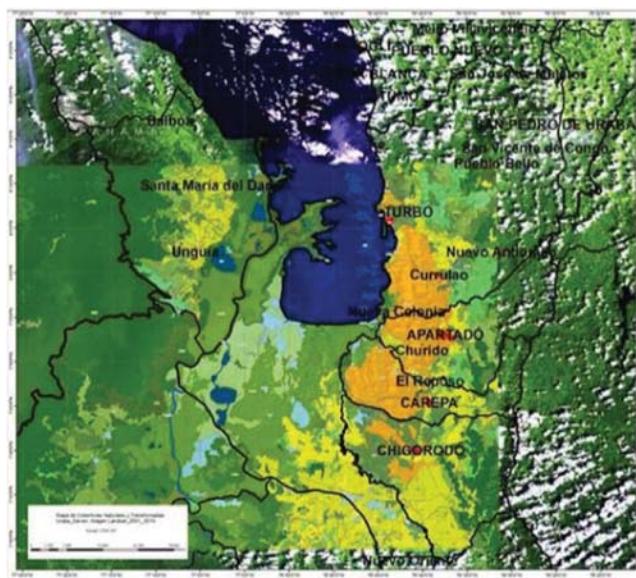


Figura 1. Avances del cambio de Uso del Suelo municipio de Turbo. Fuente, CORPOURABA 2009

La investigación se desarrolló en varias etapas, la primera de ellas consistió en el diseño de una encuesta aplicada a los recolectores de plantas silvestres comestibles de los 18 corregimientos

que componen el municipio de Turbo, Antioquia (El tres, Rio Grande, Nueva Colonia, Punta de piedra, El dos, Bocas de Atrato, Turbo cabecera, Currulao, Alto de Mulatos, Nuevo Antioquia, Pueblo

bello, San José, San Vicente, Blanquicet, Lomas aisladas, Macondo, Nuevo oriente y Puerto rico con la cual se obtuvo tanto información para la clasificación de los informantes, con base a criterios de etnia, sexo, edad y oficio; como información relacionada con las plantas, partes comestibles, técnicas, sistemas de transmisión del conocimiento, también información sobre la persona que enseña sobre la planta y modos de recolección y manejo así como los modos de preparación y conservación de alimentos. Como complemento al trabajo de encuestas se realizaron visitas de campo para la verificación de especies y recolección de muestras para una identificación fiable de las mismas así como la confección de un herbario etnobotánico.

a. Diseño del cuestionario.

El cuestionario diseñado para la encuesta de esta investigación, además de identificar la planta y conocer su uso, permite obtener información etnocultural y relacionar y clasificar la información botánica bajo parámetros sociológicos y culturales. El modelo de encuesta se basa en trabajos similares tanto latinoamericanos (Cerón, 1999; Usma, 2003; González Insuasti, 2006; Trujillo, 2010), como españoles (Granzow de la Cerda, 1993; Tardío *et al.*, 2006; Díaz Fernández *et al.*, 2009).

b. Aplicación de la encuesta.

Se entrevistaron personas adultas, mayores de 18 años hombres y mujeres, por ser éstos los responsables de la alimentación de la familia. Teniendo en cuenta que según la base de datos del SISBEN (2011), en el municipio de Turbo, la población total es de 144.281 habitantes, de los cuales 79.452 habitantes corresponden a población mayor de 18 años, esto es un 55% de la población total y que de esta población adulta se encuentran entre los 18 y 30 años 39.555 habitantes; entre 31 y 45 años 22.132 y mayores de 45 años 17.765 habitantes, a partir de la población total de 79.452 se aplicó la fórmula de cálculo de muestra para poblaciones finitas propuesta por González & Caballero (2006), obteniendo una muestra de 320 encuestas con un error de 5.5%.

Una vez seleccionada la muestra, se procedió a la aplicación de la encuesta en los 18 corregimientos que componen el municipio de Turbo. Se aplicaron 20 encuestas por corregimiento, se dividió la muestra en personas entre los rangos de edad 18 a 40 años, 41 a 60 años y más de 61 años. La proporción de aplicación fue de 25% para el primer grupo de edad, 50 % para el segundo y 25 % para el tercer grupo.

c. Procesamiento de los datos.

Los datos obtenidos fueron procesados con el fin de obtener valores medios y datos porcentuales así como contrastar la información relacionada con la persona que enseña el conocimiento de la planta de acuerdo al sector fisiográfico de los corregimientos del municipio de Turbo que les corresponda: Serranía (San José, San Vicente del Congo, Pueblo Bello, Alto de Mulatos, Nuevo Antioquia y Currulao); Litoral (Tie, El Dos, Bocas de Atrato, Turbo cabecera); Abanico Aluvial (El tres, Río Grande, Nueva Colonia y Planicie Inundable (Lomas Aisladas, Blanquicet, Macondo, Puerto rico, Nuevo oriente).

Para el tratamiento estadístico se asumió cada espacio fisiográfico como un bloque, que estuvo integrado por 20 encuestas por corregimiento, tomando cada corregimiento como una repetición, se procesaron los resultados y se compararon entre los espacios fisiográficos para establecer diferencias significativas entre los sectores y al interior de cada uno de ellos aplicando un análisis de varianza de una vía.

Resultados

Se encontraron 1.280 datos válidos para plantas silvestres comestibles en los 18 corregimientos que componen el municipio de Turbo, Antioquia, Colombia, los cuales en cuanto al sistema oral de transmisión del conocimiento etnobotánico, muestran que los encuestados han recibido el conocimiento con la siguiente descripción: 310

datos el conocimiento fue transmitido por el padre, correspondiente al 24% de los datos suministrados; 494 datos son trasmisidos por la madre, correspondiente al 39%; 340 datos muestran que la transmisión del conocimiento se produce por los abuelos, lo que corresponde al 26% y 136 datos, correspon-

den a conocimiento suministrado por amigos, lo cual corresponde a un 11% del total de datos, como se muestra en la Tabla 1 la cual evidencia el inventario de plantas identificadas por los encuestados como silvestres comestibles, la cantidad de registros y la persona que transmitió el conocimiento sobre ella.

Tabla 1. Inventario de plantas silvestres comestibles y transmisión de conocimiento del municipio de Turbo, Antioquia, Colombia

No.	Nombre común	Nombre científico	Cantidad	Quién le enseñó sobre la planta					
				Padre	madre	Abuelos	Tíos	Amigos	Otros
1	Achiote	<i>Bixa orellana</i>	23	4	6	2	4	3	4
2	Ají	<i>Capsicum annuum</i>	8		4	2	2		
3	Aguacate	<i>Persea americana</i>	28	3	6	4	3	10	2
4	Ahuyama	<i>Cucurbita maxima</i>	34	6	12	6	4	6	
5	Algarrobo	<i>Ceratonia siliqua</i>	8	2	5	1			
6	Almendra	<i>Terminalia catappa</i>	18	3	8	2	4	1	
7	Anón	<i>Annona squamosa</i>	30	5	13	4	7	1	
8	Árbol del pan	<i>Artocarpus altilis</i>	24	8	12	2	2		
9	Badea	<i>Passiflora quadrangularis</i>	24	7	11	4	1	1	
10	Batata	<i>Ipomoea batatas</i>	24	8	12		1	3	
11	Berenjena	<i>Solanum melongena</i>	22	5	10	3	1	3	
12	Bledo	<i>Amaranthus tricolor</i>	17	8	9				
13	Cacahuillo	<i>Theobroma subincatum</i>	20	9	8		1	2	
14	Caimitillo	<i>Chrysophyllum cainito</i>	14	6	6			2	
15	Calabaza	<i>Cucurbita moschata</i>	19	4	9	1	2	3	
16	Caña Agria	<i>Costus spicatus</i>	32	5	12	6	2	5	2
17	Caña fistula	<i>Cassia fistula L</i>	30	7	13		2	4	4
18	Carambolo	<i>Averrhoa carambola</i>	32	8	14	4	2	4	

...continuación Tabla 1

No.	Nombre común	Nombre científico	Cantidad	Quién le enseñó sobre la planta					
				Padre	madre	Abuelos	Tíos	Amigos	Otros
19	Caráño	<i>Protium asperum</i>	13	4	8			1	
20	cepa	<i>Colocasia esculenta</i>	36	6	17	4	5	2	2
21	Chascarrá	<i>Bactris maraja</i>	15	4	9		1	1	
22	Chirimoya	<i>Annona cherimola</i>	28	8	14	3	1	2	
23	Churíma	<i>Inga Fastuosa</i>	23	9	14				
24	Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	24	7	12	2	1	1	1
25	Ciruela	<i>spondiam purpurea</i>	27	8	13	2	3	1	
26	Col	<i>Brassica oleracea</i>	18	6	9		1	1	1
27	Corozo	<i>Bactris guineensis</i>	31	9	14	4	3		1
28	Espinaca	<i>Spinacia oleracea</i>	22	5	11	3	1	2	1
29	Jengibre	<i>Zingiber officinale</i>	26	7	8	6	1	2	2
30	Guama	<i>Inga Edulis Mart</i>	23	8	6	5	3	1	
31	Guanábana	<i>Annona muricata</i>	21	5	7	5	2	2	
32	Guayaba	<i>Psidium guajava</i>	21	8	12	1			
33	Habichuela	<i>Phaseolus vulgaris</i>	12	9	2	1			
34	Hiraca	<i>Carludovica palmata</i>	27	6	3	6	8	4	
35	Lechuga de monte	<i>Lactuca sativa</i>	15	4	5	4	2		
36	Limón mandarina	<i>Citrus × limonia</i>	13	5	4		4		
37	Limoncillo	<i>Cymbopogon citratus</i>	36	7	7	5	9	6	2
38	Mafafa	<i>Xanthosoma undipes Koch</i>	23	8	1	4	8		2
39	Malanga	<i>Xanthosoma sagittifolium</i>	22	4	7	2	6	1	2
40	Mamey	<i>Mammea americana L</i>	29	6	9		9		5
41	Mamoncillo	<i>Melicoccus bijugatus</i>	29	4	2	7	12		4

...continuación Tabla 1

No.	Nombre común	Nombre científico	Cantidad	Quién le enseñó sobre la planta					
				Padre	madre	Abuelos	Tíos	Amigos	Otros
42	Mango	<i>Mangifera indica</i>	4	1	2		1		
43	Maracuyá	<i>Passiflora edulis</i>	36	5	9	7	14		1
44	Marañón	<i>Syzygium malaccense</i>	24	4	12	8			
45	Naranjo	<i>Citrus × sinensis</i>	21	8	7	5			1
46	Níspero	<i>Eryobotria japonica</i>	18	3	9	4	2		
47	Noni	<i>Morinda citrifolia</i>	33	2	8	9	14		
48	Ñame	<i>Dioscorea spp</i>	28	7	6	6	2	6	
49	Orégano	<i>Origanum vulgare</i>	21	3	8	4		6	
50	Palco	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	8	4	4				
51	Palma de vino	<i>Scheelea butyracea</i>	25	4	9	7		5	
52	Papaya	<i>Carica papaya</i>	19	4	7	5	3		
53	Papayuela	<i>Caica pubescens</i>	7	1	3	3			
54	Tamarindo	<i>Tamarindus indica</i>	12	2	8	1	1		
55	Taparo	<i>Attalea allenii</i>	28	5	9	4	5	5	
56	Tawa	<i>Beilschmiedia tawa</i>	17	4	8	3	2		
57	Toronjil	<i>Melissa officinalis</i>	17	4	6	4	2	1	
58	uchuva	<i>Physalis peruviana</i>	21	4	12	1		4	
Totales Transmisión del conocimiento				310	491	176	164	102	37

Según los resultados mostrados en la Tabla 1 y al cruzarlos con cada sector fisiográfico del municipio se encuentra que el sector Serranía, aportó para el estudio el 33% de los datos, la Planicie Inundable el 28%, el Litoral el 22% y el Abanico Aluvial el 17% de los datos, lo cual se puede apreciar en la Figura.2.

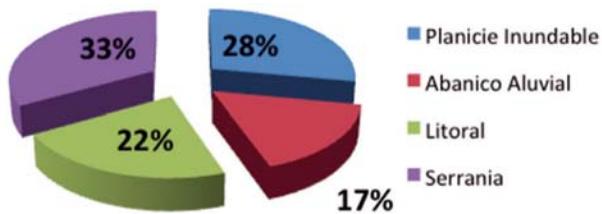


Figura 2. Transmisión del conocimiento Etnobotánico por sector fisiográfico en el municipio de Turbo, Antioquia

Análisis de transmisión del conocimiento por sector fisiográfico

Al analizar el comportamiento de los datos del estudio y teniendo en cuenta la variabilidad por el número de corregimientos que componen cada espacio fisiográfico, se puede apreciar que en los espacios fisiográficos la transmisión del conocimiento se comporta de manera homogénea ya que la madre es la principal aportante, posteriormente el padre, seguidos por abuelos y amigos.

Al aplicar un análisis de varianza a la información se encuentra que hay diferencia significativa al comparar los espacios fisiográficos del municipio lo cual obedece a la cantidad de datos que se encuentran en cada uno, mas no a la distribución de los mismos entre el sector.

Análisis sector Planicie Inundable

El entorno fisiográfico correspondiente a la Planicie Inundable está constituido por los corregimientos de Blanquicet, Lomas aisladas, Macondo, Nuevo oriente, Puerto rico. En este espacio se encontró que la madre es transmisora del conocimiento en un 38% de los casos, el padre en un 24% de los casos, los abuelos en un 27% de los casos y los amigos en un 11% de los casos. Lo que se observa en la Figura 3

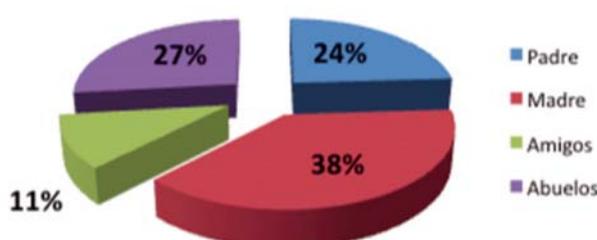


Figura 3. Transmisión del conocimiento Etnobotánico en el Sector Planicie Inundable del municipio de Turbo Antioquia - Colombia

El comportamiento de los datos en el sector, muestra irregularidad en la distribución de los mismos, especialmente entre los valores relacionados con abuelos y padres en la transmisión del

conocimiento; y al aplicar un análisis de varianza para este sector, se encontró que hay diferencia significativa entre los corregimientos del sector.

Análisis sector Abanico Aluvial. Este sector está compuesto por los corregimientos de El tres, Rio Grande y Nueva Colonia, en ellos se encuentra que la madre es la mayor transmisora del conocimiento etnobotánico con un 39% de los datos suministrados, seguido por los abuelos con un 26%, los padres con un 24% y amigos con un 11%, como se aprecia en la Figura 4

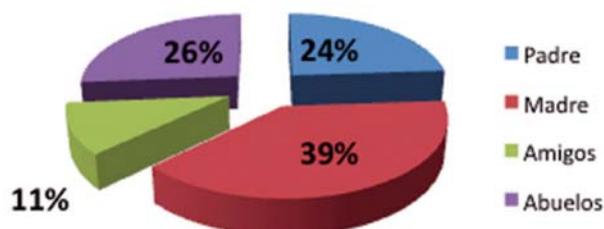


Figura 4. Transmisión del Conocimiento Etnobotánico Sector Abanico Aluvial del municipio de Turbo, Antioquia

Al analizar el comportamiento de los datos entre los corregimientos se encuentra que este sector muestra bastante homogeneidad en su distribución y al aplicarle el análisis de varianza a los datos se halla que no hay diferencias significativas entre los datos del sector.

Análisis sector Litoral. La Figura 5, muestra que en el sector Litoral, el conocimiento Etnobotánico es enseñado por la madre en un 39%, los abuelos en un 26%, los padres en un 24% y los amigos en un 11%.

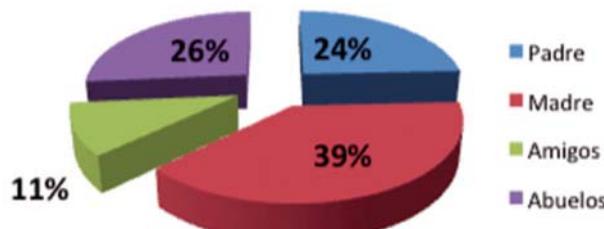


Figura 5. Transmisión del Conocimiento Etnobotánico Sector Litoral del municipio de Turbo, Antioquia

Al analizar la dinámica de ocurrencia de los datos se encontró que el casco urbano de Turbo, muestra un comportamiento diferente a los demás corregimientos del sector Litoral, el cual está compuesto por los corregimientos de Punta de piedra, El dos, Bocas de Atrato y Turbo cabecera. Al aplicar el análisis de varianza de una vía, no se presentaron diferencias significativas en los datos suministrados.

Análisis sector Serranía. En este sector conformado por los corregimientos de Currulao, Alto de Mulatos, Nuevo Antioquia, Pueblo bello, San José y San Vicente, se encontró que la responsable mayoritaria de transmitir el conocimiento etnobotánico es la madre con un 38%, seguido por los abuelos en un 27%, los padres en un 24% y los amigos en un 11% como se aprecia en la Figura 6.

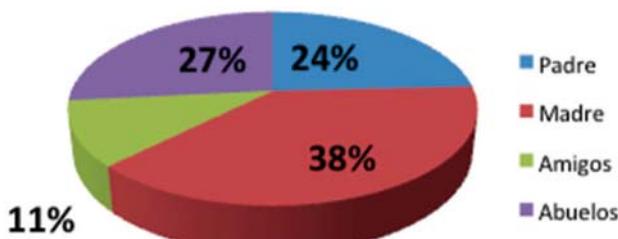


Figura 6. Transmisión del Conocimiento etnobotánico Sector Serranía

Al analizar el comportamiento de los datos en el sector se encuentra que hay variación en el comportamiento de los mismos y al aplicar el análisis de varianza se encontró que hay diferencias significativas.

Discusión y Conclusiones

La transmisión del conocimiento etnobotánico, se ha producido a través de los familiares principalmente, teniendo en cuenta que la mayoría de estudios entre los que se encuentran Pardo de Santayana & Gómez (2003) y Estupiñan- González (2010) abarcan más de una categoría de uso de las plantas (medicinales, alimenticias, artesanales, ornamentales, construcción, comestibles, tecnológicas y leña), se encuentra que los

conocimientos son transmitidos por la madre quien enseña no sólo las clases de plantas sino también las formas de preparación.

Al respecto se encuentra que Ramos *et al.* (2007), manifiestan que al realizar este tipo de estudios, se encuentra muy poca información, pero advierten la posibilidad de pérdida del conocimiento debido a la avanzada edad de los poseedores del mismo y al desinterés que presentan las nuevas generaciones por dicho conocimiento. Situación similar fue observada en el estudio de Turbo, en el cual la edad es directamente proporcional a la cantidad de información de plantas suministrada, haciendo necesaria la reflexión sobre el papel de las nuevas generaciones en la conservación de la información etnobotánica.

De igual manera las mujeres son poseedoras y transmisoras importantes del conocimiento etnobotánico, en plantas silvestres comestibles, lo cual se mantiene en este estudio donde las mujeres (madres) presentaron mayoría en la transmisión del conocimiento. Una probable razón puede ser la estructura matriarcal de los hogares en la zona de estudio, lo cual se manifiesta en la dependencia de la familia hacia la madre.

No se encuentran estudios que realicen comparaciones en diferentes sectores fisiográficos relacionados con procesos de transmisión del conocimiento, pero es importante mencionar que en esta investigación, la madre, en todos los sectores fisiográficos aparece como la transmisora principal del conocimiento. Una posible razón para este resultado puede deberse a que la mayoría de los corregimientos del municipio de Turbo, corresponde a áreas rurales, en las cuales la dinámica familiar implica que los niños se quedan en la casa con la madre mientras el padre está desempeñando labores en el campo y al estar ella encargada de la preparación de los alimentos en los cuales utiliza plantas silvestres, produce transmisión de conocimiento bien por curiosidad del aprendiente, bien por instrucción dada para enseñar diferentes procesos de preparación de alimentos.

El riesgo de desaparición del conocimiento, es algo tangible y de consideración alta, debido a varios factores, entre los que se encuentran el cambio de vocación de los sitios de recolección y a que disminuyen las áreas de cosecha y las especies silvestres comestibles.

Lo anterior, demanda acciones preventivas y correctivas de carácter inter-institucional tendientes a la recuperación por un lado de las áreas degradadas, y por otro a la sistematización de la información relacionada con plantas silvestres comestibles, al mismo tiempo que se realiza el fomento de las características benéficas que tienen éstas en la alimentación como medida de preservación de los espacios de crecimiento para las mismas.

Literatura citada

1. Ansalani, R. (2001). Estudio de diversidad vegetal en el centro Shuar Yukutais, Morona Santiago, Ecuador. *Revista de investigaciones de la Universidad del Azuay (Cuenca)* 11: 30-52.
2. Berlin, B., Breedlove, D. E. & Raven, P.H. (1966). Las taxonomías populares y clasificación biológica. *Ciencia* 154: 273-275.
3. Cerón, C.E. (1999). Etnobotánica Quichua del Río Yarusní, Amazonia Ecuatoriana.
4. CORPOURABA. (2009). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Turbo. Corporación Autónoma Regional para el Desarrollo Sostenible de Urabá.
5. Correa, M.E. (2004). Los recursos vegetales en el paisaje fragmentado generado por la agricultura itinerante: Un estudio de caso en el área Maya Yucateca de México. Tesis de pregrado: Licenciatura, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F., México.
6. DANE (2005). Censo poblacional de Colombia. Departamento Nacional de Estadísticas.
7. Díaz, A. & Gispert, M. (2000). Cultura alimentaria de plantas cultivadas: un estudio de caso en Balzapote, Veracruz México. Etnobotánica y Botánica económica. 308
8. Díaz-Fernández, P.M.; Ramos Miras, J.J.; San José Wery, A.M.; López Almansa, J.C.; del Monte Maíz, M; & Muñoz Gallego, C.L. (2009). Estudio etnoecológico de especies forestales comestibles en la Provincia de Ávila. 5 Congreso Forestal Español. Ávila.
9. Estupiñán-González, J.A (2010). Uso de las plantas por grupos campesinos en la franja tropical del parque nacional natural paramillo (Córdoba, Colombia). Recuperado de: www.unal.edu.co/icn/publicaciones/caldasia.htm
10. González Insuasti, M.S. (2006). "Etnobiología y sistemas biocognitivos tradicionales: paradigmas en la conservación biológica y el fortalecimiento cultural" En: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Asociación Etnobiológica Mexicana y Sociedad Latinoamericana de Etnobiología. México. (ISBN 978-607-482-095-9).
11. González-Insuasti, M. & Caballero, J. (2006). Gestión de recursos de las plantas. *Ecología Humana*, 35: 303-314.
12. Granzow de la Cerda, I. (1993). Etnobotánica. El Mundo vegetal en la tradición. Salamanca. Centro de Cultura Tradicional, Diputación de Salamanca.
13. Lee, R.B. (1979). The IKung San: Hombres, mujeres y trabajo en un espacio de sociedad en New York: Cambridge University Press.
14. Pardo de Santayana, M. & Gómez Pellón, E. (2003). Etnobotánica: Aprovechamiento tradicional de plantas y patrimonio cultural. *Anales Jardín Botánico de Madrid* 60(1): 171-182.
15. Phillips, O. & Gentry, A.H. (1993). Un estudio etnobotánico de la medicina tradicional de los pueblos mestizos de Suni Mirano, Loreto, Perú. Departamento de Botánica de la Universidad de British Columbia, 3515-6270 University Blvd., Vancouver, BC V6T 1Z4, Canadá.
16. Ramos Hernández, M., Ávila, C.H. & Morales, J.E.: (2007). Etnobotánica y ecología de plantas utilizadas por tres curanderos contra la mordedura de serpiente en la región de Acatlán, Veracruz, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, núm. 81, 89-100, Sociedad Botánica de México – México. Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57708106>
17. Tardío, J., Morales, R., Aceituno, L., Molina, M. & Pardo de Santayana, M. (2006). Biodiversidad y etnobotánica en España. *Memorias R. Soc. Esp. Hist. Nat.*, 2ª ép., 9, 2011
18. Trujillo, M. (2010). Plantas útiles en una comunidad indígena Murui-Muinane desplazada a la ciudad de Florencia (Caquetá- Colombia). *Mundo Amazónico* 1: 267-278.
19. Usma, M.C. (2003). Manejo de flora silvestre aprovechada por la comunidad Wounaan San Bernardo, en el río San Juan (Valle-Chocó), Colombia. *Revista Universidad Tecnológica del Choco 2003*. 2: 42-57.
20. Yaroslava N. (2002). Guía ilustrada de plantas leñosas útiles de la comunidad San José de Uchupiamonas Provincia Abel Iturralde, Departamento de La Paz, Bolivia. *Revista Universidad Católica de San Pablo 2004*. 3: 18-26

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 14 de mayo de 2014

Aceptado: 10 de julio de 2014

Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (*Prunus persica* L. Batsch cv. “Rubidoux”)

Quality parameters during the harvest of peach (*Prunus persica* L. Batsch cv. “Rubidoux”)

*Parâmetros de qualidade durante a colheita de pêssego (*Prunus persica* L. Batsch cv. “Rubidoux”)*

Lisney Alessandra Bastidas Parrado¹, Gloria Acened Puentes Montañez², Angela Lemus Cerón³

^{1,2,3} Escuela Administración de Empresas Agropecuarias. Facultad Seccional Duitama. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Carrera 18 Calle 22, Duitama. Boyacá. Colombia.

Grupo de Investigación CERES. Escuela Administración de Empresas Agropecuarias UPTC- Duitama. Facultad Seccional Duitama. Carrera 18 Calle 22, Duitama, Boyacá, Colombia.

lisney.parrado@uptc.edu.co¹, glorispuentes@hotmail.com², alegra.lemus@gmail.com³

Resumen

El durazno es una fruta de importancia agrícola como parte de los cultivos caducifolios producidos en Colombia; su calidad y aceptación comercial, así como el momento de la cosecha, están definidos en función de sus características físico-químicas. Esta investigación tuvo como propósito caracterizar algunos parámetros de calidad de durazno variedad Rubidoux durante el período de cosecha, a partir de la selección hecha por operarios en campo, de acuerdo al color de la piel como indicador de madurez. Durante seis semanas de la cosecha se evaluaron muestras de frutos, considerando aspectos como peso fresco, contenido de sólidos solubles ($^{\circ}$ Brix), categoría comercial de acuerdo al diámetro equatorial y color del fruto. Se registró un peso fresco promedio de 130,7 g por fruto, con un contenido de sólidos solubles promedio de 11,8 $^{\circ}$ Brix, parámetro que incrementó progresivamente de la semana uno a la cinco. La clasificación visual por el color de la piel permitió definir siete categorías, tres predominaron durante la cosecha (pintón, pintón-maduro y maduro), estos se correspondieron con el contenido de

sólidos solubles; es así como el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas entre $^{\circ}$ Brix y el color de piel. Durante el período evaluado, se cosecharon con mayor frecuencia duraznos pintones y frutos con diámetro entre 60 mm a 70 mm.

Palabras clave: color de piel, contenido de sólidos solubles, frutales caducifolios, índice de madurez.

Abstract

Peach is a fruit of agricultural importance as part of the deciduous crops produced in Colombia; its quality and commercial acceptance, as well as the time of harvest, are defined according to their physico-chemical characteristics. This research aimed to characterize some parameters of quality of Rubidoux peach during the harvest period, based on the selection made by operators in the field, according to the skin color as an indicator of maturity. For six weeks of the harvest samples of fruit were evaluated, considering aspects such as fresh weight, soluble solids content ($^{\circ}$ Brix), commercial-grade according to the equatorial

diameter and skin color. An average of 130.7 g per fruit fresh weight was recorded, with a content of soluble solids of 11.8 ° Brix, parameter that increased progressively from week one to the five. The visual classification by skin color allowed to define six categories, three of them predominated during the harvest (semi-ripe, semi-ripe-mature and mature), these corresponded with the content of soluble solids; this way, the analysis of variance showed statistical difference between ° Brix and skin color. During the evaluated period, semi-ripe peaches between 60 mm to 70 mm were harvested more often.

Key-words: skin color, soluble solids content, deciduous fruit, maturity index.

Resumo:

O pêssego é uma fruta de importância agrícola que conforma as culturas de caducifólios produzidos na Colômbia; sua qualidade e aceitação comercial, bem como o momento da colheita, estão definidos em função das suas características físico-químicas. Esta pesquisa teve como objetivo caracterizar alguns parâmetros de qualidade de pêssego varieda-

de Rubidoux durante o período da colheita, a partir da seleção feita por operários em campo, de acordo como a cor da casca como indicador de amadurecimento. Durante seis semanas de colheita, se avaliaram amostras de frutos, considerando aspectos como peso fresco, conteúdo de sólidos solúveis (°Brix), categoria comercial de acordo ao diâmetro equatorial e cor do fruto. Registrhou-se um peso médio de 130.7 g por fruto, com um conteúdo de sólidos solúveis, em média, de 11.8 °Brix, parâmetro que acrescentou progressivamente da semana um a cinco. A classificação visual pela cor da casca permitiu definir sete categorias, três predominaram durante a colheita (*pintado, pintado maduro e maduro*), que corresponderam com o conteúdo de sólidos solúveis; é assim como a análise de variância mostrou diferenças significativas entre °Brix e cor da casca. Durante o período avaliado, se colheram com maior frequência pêssegos pintados e frutos com diâmetro entre 60 mm e 70 mm.

Palavras-chave: cor de casca, conteúdo de sólidos solúveis, frutais caducifólios, índice de amadurecimento.

Introducción

La producción de caducifolios es una actividad agrícola rentable, genera oportunidades de negocio para los agricultores frente a otras alternativas de inversión de las regiones productoras, en especial el cultivo de durazno es visto como fuente económica atractiva para estos agricultores (Puentes et al., 2008), de acuerdo a la Sociedad Colombiana de Ciencias Hortícolas en Colombia (SCCH) la especie predominante cultivada es el durazno (SCCH, 2012 citado por Ávila et al., 2013) y el departamento de Boyacá concentra un 60,5% la producción nacional (MADR, 2012). Las varie-

dades predominantes de durazno en el departamento de Boyacá son Dorado, Diamante, Rey Negro y Rubidoux (Miranda & Carranza, 2013), materiales que fueron establecidos en la Granja Tunguavita de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y dentro de la cual se cuenta con una huerta comercial de 4 ha con el material Rubidoux, el cual sirve como referente para otros productores de la región.

Una de las labores determinantes de este sistema de producción corresponde al momento de la cose-

cha, el cual que está relacionado con su madurez, entendido como un estado donde el producto ha alcanzado un desarrollo suficiente, para que luego de la cosecha y el manejo poscosecha, su calidad sea la mínima aceptable para el consumidor final (Reid, 2002), generando así un grado de satisfacción al consumir el producto (Crisosto & Valero, 2008). Existen diferentes parámetros que han sido utilizados para determinar el grado de madurez de frutales considerados como índices de madurez (Dagar *et al.*, 2011; Daza *et al.*, 2008; Ferrer *et al.*, 2005) estos índices son importantes por las regulaciones comerciales que establecen el grado de madurez mínimo o máximo aceptado, se utilizan también como estrategia para la comercialización de productos y su conocimiento permite planear la cosecha del producto (Crisosto & Valero, 2008).

Entre los parámetros más usados para definir la calidad de frutales están los físicos como el tamaño, la forma, peso, color y los químicos como acidez, contenido de azúcar, así como algunos compuestos volátiles que determinan su aroma (Byrne *et al.*, 1991; Jha *et al.*, 2010) Existen diversos estudios enfocados en determinar este tipo de parámetros de madurez en nectarinas y duraznos, partiendo de técnicas destructivas y no destructivas cuyo fin último es determinar el momento de la cosecha apropiado para que el producto recolectado sea aceptado comercialmente (Byrne *et al.*, 1991; Pérez-Marín *et al.*, 2009; Tijskens *et al.*, 2007) using near-infrared (NIR dado que el fruto es altamente perecedero (Crisosto *et al.*, 2009). Para este sistema de cultivo, en Colombia tradicionalmente se determina el índice de madurez de manera visual, identificando principalmente cambios de color en la piel del durazno, índice que en algunos cultivares es enmascarado porque se genera un cambio de color del exocarpio relacionado con la presencia de luz (Crisosto & Costa, 2008; Kays, 1999).

Conociendo la importancia de este cultivo y los métodos de selección para la cosecha, esta investigación se propuso caracterizar algunos parámetros de calidad del durazno Rubidoux tales como sólidos solubles totales, y la frecuencia por categoría comercial, de acuerdo al diámetro ecuatorial y peso de los frutos, así como color de la corteza con el fin de tener información preliminar de esta variedad.

Materiales y métodos

El estudio se adelantó en una huerta de durazno Rubidoux de 10 años, durante la cosecha, entre los meses de marzo a mayo de 2013 en la Granja Experimental Tunguavita de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) ubicada en la vereda El Salitre del municipio de Paipa, Boyacá, Colombia, a 5°44' de latitud Norte y 73°06' de longitud Oeste, a una altitud de 2.470 msnm; durante el período evaluado se presentaron precipitaciones totales de 295,4 mm y 244,9 horas de brillo solar (IDEAM, 2013).

La muestra correspondió a seis canastas de duraznos cosechados sin seleccionar y escogidas al azar, a razón de una por pase de cosecha, se entiende por pase cada etapa o semana donde se hizo la recolección del total de los árboles de la huerta (Usenik *et al.*, 2008), material que fue transportado al Laboratorio de Poscosecha de la Escuela de Administración de Empresas Agropecuarias-Uptc, para ser analizado de manera inmediata.

Inicialmente se estableció una carta de color para la variedad Rubidoux de acuerdo a la proporción visual de color de piel y su intensidad sobre la zona ecuatorial (Casierra-Posada & Aguilar-Avendaño, 2008). Se determinaron las categorías para comercialización en fresco respecto al diámetro ecuatorial de los frutos con un calibrador "pie de

rey” digital MITUTOYO CD- 6” C5, con base en la selección hecha por el productor en campo para su distribución. En el laboratorio se clasificaron los frutos de acuerdo a las categorías comerciales previamente definidas y se pesaron en una balanza electrónica de piso modelo TCS – AE-300, a partir de los cuales y teniendo en cuenta la cantidad de frutos se estimó el peso fresco promedio de fruto y la frecuencia (%) por categoría (Weber *et al.*, 2003). Cada categoría se clasificó de acuerdo a la carta de colores separando los pintones, de pintones-maduros y maduros, haciendo un conteo de acuerdo a este parámetro. Se separaron tres frutos al azar de cada una de las categorías relacionadas con el color de la corteza, por cada uno de los seis pases, para los cuales se determinó °Brix con un refractómetro BRIXCO FG-113 (rango 0-32°Brix). Esta información se analizó mediante el programa estadístico R, versión 2.12.2, con el cual se realizó análisis de varianza clásico, previa comparación de la normalidad de datos y homogeneidad de varianzas, seguido del test de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia $p \leq 0,05$.

Resultados

Una vez que la comercialización en fresco del durazno fue determinada por la apariencia y el color, se realizó una clasificación visual colorimétrica para el durazno Rubidoux. De esta manera se obtuvieron seis categorías para reflejar los estados de madurez desde el fruto denominado verde, de coloración intensa, hasta el sobremaduro con tonalidades amarillas-naranjas en más del 80% del fruto (Tabla 1).

Tabla 1. Grado de madurez de acuerdo al color para durazno Rubidoux en la Granja Experimental Tunguavita, Paipa, Boyacá

Grado de madurez	Color %	
	Verde	Rojo
Verde	100	0
Verde pintón	80	20
Pintón	60	40
Pintón maduro	40	60
Maduro	20	80
Sobremaduro	0	100

Durante esta investigación se clasificaron los frutos recolectados en las categorías extra, primera, segunda y corriente, acorde a la clasificación hecha previamente por el agricultor dueño de la finca. Es así como en laboratorio se correspondió cada categoría con un rango de medida relacionado con el diámetro ecuatorial de los frutos, de manera que la categoría extra se correspondió con frutos cuyo diámetro fue mayor a 70 mm, la categoría primera fue de 60-70 mm, la segunda de 50-60 mm y la corriente menor de 50 mm de diámetro.

La muestra evaluada correspondió a 801 frutos provenientes de seis pases durante la cosecha. Se obtuvo así que la mayor frecuencia de frutos se correspondió con la categoría primera con un 51,8%, seguido de la categoría segunda con 31,5 %, extra con 13,5% y corriente con 3,2 % (Figura 1).

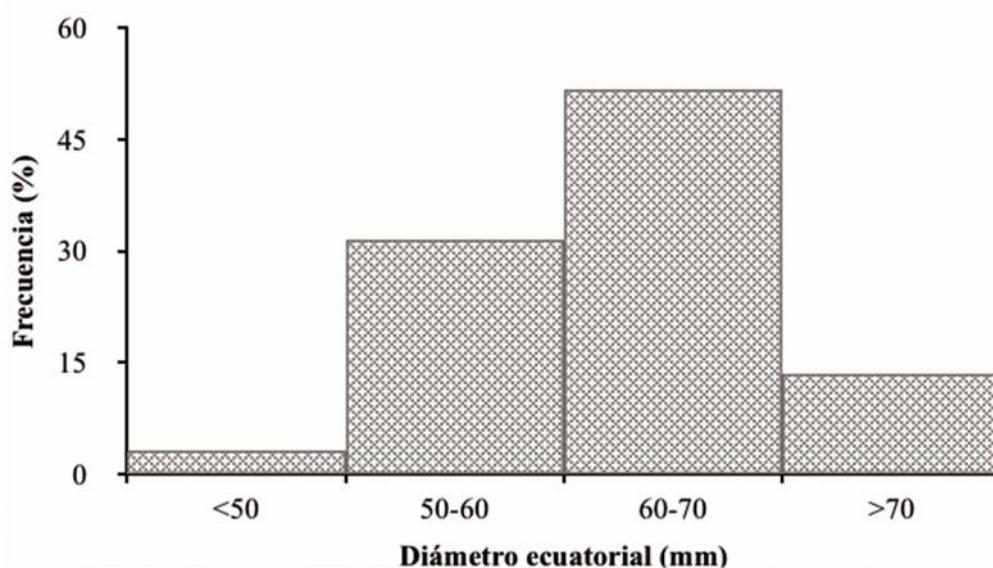


Figura 1. Distribución de las frecuencias de acuerdo al diámetro ecuatorial de frutos de duraznos Rubidoux cosechados en la Granja Experimental Tunguavita, Paipa, Boyacá.

Así mismo, se determinó el peso fresco promedio por fruto que fue de 130,70 g, siendo el de mayor peso el de categoría extra y el de menor, de la categoría corriente. Respecto a los °Brix, se obtuvo como media un valor de 11,8 °Brix y haciendo una comparación

frente a las categorías, se registró el mismo comportamiento señalado para el peso promedio de fruto fresco. Los datos muestran una correspondencia respecto a las categorías, siendo mayor los °Brix de la categoría extra, respecto a la categoría II (Tabla 2).

Tabla 2. Parámetros de calidad por categoría comercial para durazno Rubidoux en la Granja Experimental Tunguavita, Paipa, Boyacá

CATEGORÍA	DIÁMETRO ECUATORIAL (mm)	PESO FRESCO (g)*	°Brix
Extra	>70	186 ± 13	13,0 ± 2,5
Primera (I)	60-70	145 ± 17	11,9 ± 1,6
Segunda (II)	50-70	99 ± 12	11,1 ± 1,9
Corriente	<50	69 ± 12	-

*La variable consideró el peso promedio de frutos por categoría.

El peso fresco promedio por fruto y los °Brix fueron registrados por pase (Tabla 3), para los dos parámetros en mención se refleja un mayor valor durante el pase 5. Los °Brix aumentan

progresivamente del pase uno al cinco en una proporción de 17%, valor que declina en el último pase. De acuerdo al análisis de varianza no hay diferencias estadísticas para este parámetro entre pases.

Tabla 3. Comportamiento de peso fresco y °Brix de frutos de durazno Rubidoux por pase, en la Granja Experimental Tunguavita, Paipa, Boyacá

Pase	1	2	3	4	5	6
Peso (g)*	141,28	127,89	114,72	129,69	148,32	122,80
°Brix	11,2 ± 1,5	11,3 ± 2	12,2 ± 1,8	12,4 ± 2,5	13,1 ± 2,6	12,1 ± 2,2

*La variable consideró el peso promedio de fruto fresco por pase.

Respecto al contenido de °Brix en relación con la coloración de la corteza, el análisis de varianza mostró diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,001$). Al realizar la comparación de medias se determinaron diferencias entre las tres categorías por color (Tabla 4). Adicionalmente se obtuvo una frecuencia relativa de 58,4% de frutos pintones, frente a un 36% y 5,8% de frutos pintón-maduro y maduro, respectivamente.

Tabla 4. °Brix respecto al color de la piel de durazno Rubidoux en la Granja Experimental Tunguavita, Paipa, Boyacá

COLOR	°BRIX*
Pintón	10,6 a
Pintón-Maduro	11,7 b
Maduro	13,6 c

*Promedio con letras distintas indica diferencias significativas, según la prueba de Tukey ($p < 0,05$)

Discusión

El color de la piel del durazno ha sido empleado junto con el conocimiento práctico de los agricultores, para determinar el momento de la cosecha de los frutos (Crisosto, 1994), así como se hizo en esta investigación, una vez que el agricultor poseedor de la cosecha fue quien determinó según parámetro visual y firmeza manual, la época de cosecha. La tabla de color realizada para este estudio fue útil para determinar por apreciación visual la madurez de los frutos evaluados. Normalmente el color de piel ha sido considerado como un

parámetro no destructivo confiable para determinar el potencial de mercado del fruto, así como su vida útil, algunos autores han encontrado correlaciones altas entre el color y el grado de madurez de frutales caducifolios (Budde et al., 2003; Byrne et al., 1991; Shinya, Contador, Predieri, Rubio & Infante, 2013) were harvested according to their visually assessed ground color and divided into four, ripeness classes (M1, M2, M3, and M4) correspondencia que se presentó de forma similar en esta investigación.

Es de notar que la observación y clasificación visual no son suficientes para determinar el grado de madurez, ya que la coloración superficial está determinada además del grado de madurez por la exposición a la luz solar (Lewallen & Marini, 2003), por lo que otros autores han expresado que es preciso hacer este tipo de evaluaciones con ayuda de equipos electrónicos para determinar además del color de fondo medidas relacionadas con pigmentos que definen la madurez en durazno (Crisosto, 1994; Ferrer et al., 2005; Herrero-Langreo et al., 2012) y aún con mayor precisión emplear técnicas que permitan determinar el color de la pulpa ya que ésta se correlaciona en mayor medida con el grado de madurez del durazno (Crisosto et al., 2007). Aun así, la clasificación manual hecha a partir del color de la piel o corteza, de acuerdo a este estudio, se correspondió con la cantidad de °Brix presentes en los frutos. Estudios como el de Slaughter et al. (2006) demuestran que hay correspondencia hasta de un 83%, tanto de técnicas manuales como instrumentales, para determinar parámetros de madurez de durazno y por lo tanto pueden ser consideradas adecuadas para tomar decisiones de cosecha, en campo.

Respecto a parámetros de calidad de las diferentes variedades de duraznos en Colombia existe poca información, en especial para Rubidoux un estudio de la relación hoja-fruto refleja cómo el contenido de sólidos solubles totales y el peso fresco de los frutos está relacionado con la práctica de raleo de frutos. Para esta investigación se obtuvieron variaciones promedio a lo largo de la cosecha, en un rango aproximado entre 11 °Brix y 13 °Brix, se considera que las prácticas de raleo de fruto en la Granja Experimental Tunguavita son apropiadas, ya que se conoce que a mayor cantidad de hojas por fruto, es mayor el contenido de sólidos solubles en correspondencia con Casierra-posada *et al.* (2007) en donde se obtuvo un valor superior a 10°Brix para frutos con más de 20 hojas.

De manera similar la cantidad de frutos obtenidos en la categoría primera, puede estar relacionada con la práctica de raleo de frutos, ya que el diámetro se aumenta con esta práctica (Casierra-posada *et al.*, 2007), lo cual es determinante porque los consumidores tienen preferencia por productos de mayor tamaño y mayor contenido de azúcares. Así como se reporta para estudios de aceptación de durazno por los consumidores con base en el contenido de sólidos solubles, a partir de los cuales se registran preferencias mayores a 70% para valores superiores a 10°Brix en diferentes variedades de durazno (Crisosto & Crisosto, 2005; Delgado, *et al.*, 2013), es de recordar, que el contenido de azúcares registrado para Rubidoux es superior al mencionado, lo cual sugiere aceptación por los consumidores, aunque hay que precisar y hacer evaluaciones respecto a la acidez titulable. Cabe mencionar que la concentración de sólidos solubles igualmente está relacionada con el grado de exposición de los frutos a la luz (Lewallen & Marini, 2003) lo que sugiere que prácticas de manejo como las podas, han sido implementadas adecuadamente en la Granja Tunguavita, permitiendo que los frutos tengan un cierto grado de uniformidad.

El comportamiento de peso fresco y °Brix de frutos de durazno Rubidoux por pase, es esperado

de acuerdo a otros reportes y a la fisiología de maduración del durazno (Ferrer *et al.*, 2005). En cuatro variedades distintas de ciruela, se observó similar comportamiento para cinco y seis pasos de cosecha con intervalos entre 6 y 8 días, con incrementos en los °Brix entre un pase y otro (Usenik *et al.*, 2008).

De otra parte, con referencia a los valores reportados para el pase cinco, se correspondieron con el período de mayor cantidad de frutos cosechados (datos no mostrados) lo que sugiere que fue el momento donde se obtuvo mayor homogeneidad comercial respecto al tamaño del fruto. Mientras en el último pase los valores decayeron, lo que puede estar relacionado con incidencia de lluvias, de acuerdo al IDEAM (2013) se tuvo un acumulado de 295,4mm de lluvia durante la cosecha, de los cuales un 46% corresponden a los últimos 10 días. Para el brillo solar se presentó un comportamiento similar, el promedio de horas luz para el período evaluado fue 3,6 horas mientras para los últimos 10 días fue de 2,5. Estudios como el de Lewallen & Marini (2003) constatan la dependencia entre el grado de exposición de los frutos a la luz y el contenido de azúcares. Resultados que adicionalmente, son coherentes con los de Alcobendas *et al.*, (2013) quienes observaron diferencias estadísticas en °Brix y exposición a la luz, de manera que disminuyen a mayor cantidad de riego y menor exposición de los frutos de durazno a la luz solar. Finalmente Pinzón *et al.* (2014) señalan que los aspectos fisiológicos del duraznero están relacionados con cambios en las condiciones ambientales de la zona donde se producen.

Conclusiones

Los parámetros de calidad de durazno Rubidoux evaluados fueron consistentes con otros cultivares reportados en la literatura, de manera que las prácticas de precosecha y poscosecha implementadas en la Granja Experimental Tunguavita parecen estar acordes con los requerimientos del producto. Aun así, se precisa realizar a mayor

profundidad la caracterización, incluyendo aspectos como firmeza del fruto y acidez titulable, que representen de manera consistente los índices de madurez para esta variedad, incluyendo el uso de técnicas no destructivas durante el proceso de maduración para poder determinar el momento oportuno de la cosecha.

Igualmente, teniendo en cuenta que el comportamiento entre cultivares varía, se sugiere llevar a cabo investigaciones que relacionen la madurez del producto con el grado de aceptación de los consumidores para su disposición final en el mercado, y también porque esto permitiría tomar decisiones de tipo agronómico que potencien algunas características deseables del fruto.

Agradecimientos

Las autoras expresan sus agradecimientos a la Dirección de Investigaciones DIN de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por el apoyo brindado al proyecto código SGI 1515, al personal de la Granja Experimental Tunguavita de la Uptc y al Centro de Innovación del Trópico Alto Sostenible-CEI3TAS.

Literatura citada

1. Alcobendas, R., Mirás-Avalos, J. M., Alarcón, J. J. & Nicolás, E. (2013). Effects of irrigation and fruit position on size, colour, firmness and sugar contents of fruits in a mid-late maturing peach cultivar. *Scientia Horticulturae*, 164, 340–347.
2. Ávila, C., Robles, A., Pinzón, S., Miranda, D. & Fisher, G. (2013). Tecnologías locales para los sistemas de producción de frutales caducifolios. En D. Miranda, G. Fischer, & C. Carranza (Eds.), Los frutales caducifolios en Colombia: situación actual, sistemas de cultivo y planes de desarrollo (pp. 115–149). Bogotá, Colombia: Equilibrio Gráfico Editorial Ltda.
3. Budde, C. O., Tula, A., Polenta, G., Lucangeli, C., Murray, R., Iberoamericana, R., Murray, R. (2003). El color de fondo y la dureza como estimadores no destructivos de la firmeza de la pulpa en duraznos. *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*, 5(2), 134–139.
4. Byrne, D., Nikolic, A. & Burns, E. (1991). Variability in sugars, acids, firmness, and color characteristics of 12 peach genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(6), 1004–1006.
5. Casierri-Posada, F., Rodríguez-Puerto, J. & Cárdenas-Hernández, J. (2007). La relación hoja:fruto afecta la producción, el crecimiento y la calidad del fruto en duraznero (*Prunus persica* L. Batsch cv. "Rubidoux"). *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín*, 60(1), 3657–3669.
6. Casierri-Posada, F. & Aguilar-Avendaño, O. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 300–307.
7. Crisosto, C., Lurie, S. & Retamales, J. (2009). Stone fruits, En: E. Yahia (Eds), Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation and packing of horticultural commodities (pp. 287–315). Boca Raton, Florida: Taylor & Francis group, LLC.
8. Crisosto, C. & Costa, G. (2008). Preharvest Factors Affecting Peach Quality. En D. Layne & D. Bassie (Eds.), The peach: botany, production and uses (pp. 536–549). UK: CAB
9. Crisosto, C. (1994). Stone fruit maturity indices : a descriptive review. *Postharvest News and Information*, 5(6), 65–69.
10. Crisosto, C. H. & Crisosto, G. M. (2005). Relationship between ripe soluble solids concentration (RSSC) and consumer acceptance of high and low acid melting flesh peach and nectarine (*Prunus persica* (L.) Batsch) cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 38(3), 239–246.
11. Crisosto, C. H., Valero, C. & Slaughter, D. C. (2007). Predicting pitting damage during processing in californian clingstone peaches using color and firmness measurements. *Applied Engineering in Agriculture*, 23(2), 1–6.
12. Crisosto, C. & Valero, D. (2008). Harvesting and postharvest handling of dates. En D. Layne & D. Bassie (Eds.), The peach: botany, production and uses (pp. 576–596). UK: CAB International.
13. Dagar, A., Weksler, A., Friedman, H., Ogundiwin, E. A., Crisosto, C. H., Ahmad, R. & Lurie, S. (2011). Comparing ripening and storage characteristics of "Oded" peach and its nectarine mutant "Yuval." *Postharvest Biology and Technology*, 60(1), 1–6.
14. Daza, A., García-Galavís, P. A., Grande, M. J. & Santamaría, C. (2008). Fruit quality parameters of "Pioneer" Japanese plums produced on eight different rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 118(3), 206–211.
15. Delgado, C., Crisosto, G. M., Heymann, H. & Crisosto, C. H. (2013). Determining the Primary Drivers of Liking to Predict Consumers' Acceptance of Fresh Nectarines and Peaches. *Journal of Food Science*, 78(4), S605–S614.
16. Ferrer, A., Remón, S., Negueruela, A. I. & Oria, R. (2005). Changes during the ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda: Feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indices. *Scientia Horticulturae*, 105(4), 435–446.
17. Herrero-Langreo, A., Fernández-Ahumada, E., Roger, J.-M., Palagós, B. & Lleó, L. (2012). Combination of optical and non-destructive mechanical techniques for the measurement of maturity in peach. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 150–157.

- 18.** Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales- IDEAM. (2013). Información hidrometeorológica, Base de datos. Bogotá, Colombia.
- 19.** Jha, S. N., Narsaiah, K., Sharma, A. D., Singh, M., Bansal, S. & Kumar, R. (2010). Quality parameters of mango and potential of non-destructive techniques for their measurement - A review. *Journal of Food Science and Technology*, 47(1), 1–14.
- 20.** Kays, S. J. (1999). Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 233–247.
- 21.** Lewallen, K. S. & Marini, R. P. (2003). Relationship between Flesh Firmness and Ground Color in Peach as Influenced by Light and Canopy Position. *Journal of American Society Horticultural Science*, 128(July 1999), 163–170.
- 22.** Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR. (2012). Anuario estadístico de frutas y hortalizas 2007-2011. Recuperado de <http://207.239.251.112/www/htm3b/public/Anuario/ANUARIO%20ESTADISTICO%20DE%20FRUTAS%20Y%20HORTALIZAS%202011.pdf>
- 23.** Miranda D. & Carranza, C. (2013) Caracterización, clasificación y tipificación de sistemas productivos de caducifolios, con énfasis en duraznero, manzano, ciruelo y peral, En: D. Miranda, G. Fischer & C. Carranza (Eds), Los frutales caducifolios en Colombia: situación actual, sistemas de cultivo y planes de desarrollo (pp. 87–113). Bogotá, Colombia: Equilibrio Gráfico Editorial Ltda.
- 24.** Pérez-Marín, D., Sánchez, M. T., Paz, P., Soriano, M. A., Guerrero, J. E. & Garrido-Varo, A. (2009). Non-destructive determination of quality parameters in nectarines during on-tree ripening and postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology*, 52(2), 180–188.
- 25.** Pinzón, E., Morillo, A. & Fischer, G. (2014). Aspectos fisiológicos del duraznero (*Prunus persica* [L.] Batsch) en el trópico alto: una revisión. *Revista U.D.C.A. Actualidad & Divulgación Científica*, 17(2), 401–411.
- 26.** Puentes, G. A., Felipe, L. & Teresa, L. (2008). Análisis de grupo de las empresas productoras de frutales caducifolios del departamento de Boyacá. *Agronomía Colombiana*, 26(1), 146–154.
- 27.** Reid, M. (2002). Maturation and maturity indices. En: A. Kader (Ed), *Postharvest technology of horticultural crops* (pp. 55–62). University of California, Oakland, CA, USA: ANR
- 28.** Shinya, P., Contador, L., Predieri, S., Rubio, P. & Infante, R. (2013). Peach ripening: Segregation at harvest and postharvest flesh softening. *Postharvest Biology and Technology*, 86, 472–478.
- 29.** Slaughter, D. C., Crisosto, C. H., Hasey, J. K. & Thompson, J. F. (2006). Comparison of instrumental and manual inspection of clingstone peaches. *Applied Engineering in Agriculture*, 22(6), 883–889.
- 30.** Tijskens, L. M. M., Zerbini, P. E., Schouten, R. E., Vanoli, M., Jacob, S., Grassi, M. & Torricelli, A. (2007). Assessing harvest maturity in nectarines. *Postharvest Biology and Technology*, 45(2), 204–213.
- 31.** Usenik, V., Kastelec, D., Veberič, R. & Štampar, F. (2008). Quality changes during ripening of plums (*Prunus domestica* L.). *Food Chemistry*, 111(4), 830–836.
- 32.** Weber M., Güemes D., Pirovani M., Piagentini A., Zanuttini A. & Gariglio N. (2003). Características del fruto del duraznero 'flordaking' cultivado en la zona centro-este de la provincia de Santa Fe (Argentina). *Revista FAVE-Ciencias Agrarias*, 2, 29–35.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 14 de agosto de 2014
 Aceptado: 29 de septiembre de 2014

Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra* L.) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del Trópico Alto

Features, management, uses and benefits of saúco (*Sambucus nigra* L.) with emphasis on its implementation in the tropic high silvopastoral systems

*Características, gestão, usos e benefícios do sabugueiro (*sambucus nigra* l.) com ênfase na implementação de sistemas silvipastoris, no alto trópico*

**Beatriz Milena Grajales Atehortúa¹, María Magdalena Botero Galvis²
& Juan Fernando Ramírez Quirama³**

¹Tecnóloga Forestal, Ingeniera Agroforestal, Especialista en Manejo de recursos naturales en Cuencas Hidrográficas. ²Técnica Profesional en Manejo y Aprovechamiento de Bosques, Ingeniera Agroforestal. ³Ingeniero Forestal, Magister en Bosques y conservación ambiental, Estudiante de Doctorado de Ciencias de la agricultura, Pontificia Universidad Católica de Chile.

¹Corantioquia. Subdirección de Gestión Ambiental. Medellín. Colombia. ²Interventoría. Colegio Mayor de Antioquia. Medellín. Colombia. ³ Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Medellín. Colombia.

¹beam1@hotmail.com, ²mariabgalvis@gmail.com, ³juan.ramirez.quirama@gmail.com

Resumen

El saúco *Sambucus nigra* es un arbusto con características botánicas, composición química y sustancias activas, que ofrece las condiciones para ser aprovechado con fines medicinales, alimenticios, ornamentales, artesanales y para supplementación animal. Sobre la especie existen publicaciones sobre diversos temas en particular, sin embargo, no se cuenta con un documento que contenga información total sobre la especie. El objetivo de esta investigación fue consolidar documentación bibliográfica sobre las características, manejo y usos del saúco, que permita conocer ampliamente la especie y así motivar su implementación en sistemas productivos generando

beneficios sociales, ambientales y económicos, de tal manera que se puedan aprovechar todos los beneficios que ésta brinda. Es así como al final del artículo se dan recomendaciones sobre el manejo y uso del *S. nigra* en sistemas silvopastoriles del trópico alto, entre los que se tienen las cortinas rompe vientos, cercas vivas, sistema de ramoneo y banco de forraje mixto. Entre las alternativas en sistemas silvopastoriles, se tiene el saúco como especie multipropósito, el cual por sus propiedades permite ser implementado bajo diferentes herramientas de manejo del paisaje y proporciona forraje de buena calidad, mejora las condiciones de la leche, aporta en la protección

de los recursos y en general ofrece diversidad de subproductos que pueden ser aprovechados.

Palabras clave: saúco, *Sambucus nigra*, forraje, medicinal, silvopastoril

Abstract

Sáuco *Sambucus nigra* is a shrub with botanical characteristics, chemical composition and active substances, which provides the conditions to be used for food, medicinal, ornamental, craft purposes and for animal supplementation. About the species there are publications on various topics in particular, however, there is not a document that contains full information about the species. The objective of this research was to consolidate bibliographical documentation on the features, management and uses of saúco, which popularizes the species and thus encourages their implementation in production systems generating social, environmental and economic benefits in such way that it can take advantage of all the benefits that this provides. At the end of the article recommendations are given on the management and use of *S. nigra* in the tropics high silvopastoral systems, among which are the breaks wind curtains, hedgerows, grazing system and fodder banks mixed. Among the alternatives in silvopastoral systems, sáuco is multipurpose, which by its properties can be implemented under landscape management diverse tools and provides good quality forage, improves the conditions of milk, brings in the protection of resources and in general offers variety of by-products which can be exploited.

Keywords: sáuco, *Sambucus nigra*, fodder, medicinal, silvopastoral

Resumo

O sabugueiro (*Sambucus nigra*) é um arbusto com características botânicas, composição química e sustâncias ativas, que oferece condições para ser aproveitado com fins medicinais, alimentares, ornamentais, artesanais e para suplemento animal. Desta espécie existem publicações que abordam diferentes assuntos de interesse, porém, não há um documento que contenha informação abrangente sobre a espécie. O objetivo desta pesquisa foi consolidar documentação bibliográfica sobre as características, manejo e usos do sabugueiro, que permita conhecer amplamente a espécie e, desse modo, incentivar a sua implementação em sistemas produtivos, gerando assim benefícios sociais, ambientais e econômicos. É assim como ao final desse artigo se dão recomendações de manejo e uso de *S. nigra* em sistemas silvipastoris do trópico alto, tais como as cortinas quebraventos, as cercas vivas, entre outras. Dentre as alternativas em sistemas silvipastoris, encontra-se o sabugueiro como espécie de múltiplos propósitos, sendo que pelas suas propriedades pode ser implementado sob condições diferentes de manejo da paisagem, proporcionando forragem de boa qualidade, melhora das condições do leite, proteção dos recursos e aproveitamento diversificado de subprodutos.

Palavras-chave: Sabugueiro, *Sambucus nigra*, forragem, medicinal, silvopastoril

Introducción

La especie *S. nigra* (saúco), cuenta con dos subespecies *Sambucus peruviana* y *Sambucus mexicana* (Díaz, 2003), distribuidas en zonas templadas y subtropicales del mundo (Sanjinés et al., 2006). Fue introducido por los españoles, quienes lo trajeron a América en el siglo XVI, se ha aclimatado en muchas regiones incluso en las

alturas andinas (Blanco et al., 2005). El Saúco es un arbusto introducido en Colombia, especie que tiene características botánicas importantes para los sistemas agroforestales. Entre los usos se encuentra, medicinales, artesanales, para la construcción, elaboración de alimentos (Sánchez et al., 2010), como sombrío a los cultivos, ornamental,

culturales (planta mágica) (Botero, 2011), repelente e insecticida (Abella, 2000). Es una alternativa forrajera para ser implementación en sistemas silvopastoriles (Cárdenas *et al.*, 2011). En Agroforestería el saúco se planta en cercas vivas, linderos, cortina rompe vientos y para la protección contra heladas (Rojas *et al.*, 2011). Además que es de rápido crecimiento, atrae la fauna por sus frutos, flores, semillas (Galindo *et al.*, 2003).

Su reproducción puede ser sexual o asexual y presenta alto porcentaje de sobrevivencia, características que favorecen su reproducción y siembra en diferentes medios y con varios fines. El saúco, en unidades productivas campesinas por sus características multipropósito, es una buena opción de suministro de forraje para especies menores como: conejos (Jaramillo, 2011) pollos (Arias, 2009) y cabras (Arévalo, 2013)

Por los aspectos antes mencionados, es importante conocer las características, manejo, usos y beneficios del saúco, lo que permite adelantar procesos para su implementación en diferentes sistemas. Por esto, la importancia de recopilar información sobre estudios que se han realizado de la especie. El propósito de esta investigación, es realizar una revisión de la información bibliográfica sobre el saúco, con énfasis en su implementación para la suplementación animal en sistemas silvopastoriles del trópico alto (Uribe *et al.*, 2011). Esta revisión de información permitirá implementar alternativas sostenibles para la recuperación y manejo de praderas y suelos degradados en sistemas de producción lechera (Sánchez & Villaneda, 2009) e igualmente aprovechar los beneficios y recursos que proporciona esta especie, tanto a gran escala, como en unidades familiares de producción.

La búsqueda de la información se realizó en las bases de datos Scopus, Science direct, y bibliotecas locales, ingresando al sistema las palabras claves saúco, con diversas combinaciones, tales como: características, origen, *Sambucus nigra*, *S. peruviana* y *S. mexicana* taxonomía,

reproducción, manejo, usos en sistemas silvopastoriles, usos tradicionales, usos medicinales, entre otras, en idiomas como el inglés y el español.

Características de la especie

De acuerdo a la clasificación taxonómica, *S. nigra*, pertenece a la familia Caprifoliaceae, la cual comprende arbustos, árboles o lianas y algunas hierbas, generalmente con partes vegetativas pubescentes (Juárez, 1996). El nombre del género *Sambucus* proviene del término sambuca, originario de un antiguo instrumento musical muy utilizado por los romanos y fabricado con la madera de esta especie. El epíteto *nigra* se refiere al color negro de los frutos maduros (Fonnegra & Jiménez, 2006).

Nombres comunes

Dentro de los nombres comunes se encuentran: Flider, Holunder, Schwarzer Holuder (Alemán), Saúco, Saúco Negro, Sabugo, Canillero (España); Grand Sureau, Sambuquier, Sue, Sureau (Francés), Black Elder, Bour Tree, Elder, Elder Berry, European Elder, Piper Tree (Inglés); Nebbi, Sambrugo, Sambuco, Saúgo, Savucu, Zambuco (Italiano); Biateiro, Sambuguero, Saúgu (Portugués) (Fonnegra y Jiménez, 2006). En Colombia es conocido como Saúco, Tilo, Canillero, Layán y Rayán (Sánchez *et al.*, 2010).

Origen y distribución

La especie es nativa de Europa, noroeste de África y sudoeste de Asia (Sánchez *et al.*, 2010). De forma natural se encuentra disperso en bordes de bosques húmedos, asociados a matorrales espinosos de hoja caduca y en ambientes mediterráneos, en valles y vaguadas fuera del área ribereña o asociado a cursos de agua permanente (Albert *et al.*, 2008). Sin embargo Albert *et al.* (2008) menciona que el rango de distribución natural de la especie es difícil de precisar debido a que el saúco ha sido ampliamente cultivado para

la producción de frutos. Se introdujo en América, donde se encuentra desde México y Costa Rica hasta Argentina (Sánchez *et al.*, 2010). En Colombia es altamente cultivada entre 1000 y 3000 msnm en bosques pre montanos y montanos (Alzate *et al.*, 2013), distribuido en los departamentos de Boyacá, Caldas, Putumayo, Quindío, Antioquia, Cauca, Cundinamarca, Valle del Cauca, Nariño, Amazonas y Huila (Díaz, 2003).

Condiciones agroecológicas

El saúco, se adapta muy bien en zonas de bosques húmedos. Resiste las heladas fuertes (15 a 20°C). Rango de precipitación medios de 2000 a 4000 mm año⁻¹. Es una especie heliófila, es decir que requiere de plena exposición al sol para crecer adecuadamente (Giraldo *et al.* 2011). Poco exigente en suelos (Hernández, 2011), tolera acidez leve, no soporta suelos mal drenados pero si cercanos a fuentes hídricas (Giraldo *et al.*, 2011), por su rusticidad permite adaptarse a los suelos calcáreos, pedregosos, en taludes, ruinas, escombreras e incluso a las grietas de los muros (Abella, 2000).

Características botánicas

El *S. nigra*, es una planta arbustiva perenne, de 4 a 6 m de altura, copa redondeada, baja y densa. El tronco es curvo e inclinado, con corteza rugosa, y ramas gruesas (Sánchez *et al.*, 2010). Las ramas presentan el desarrollo de una médula, abundante y muy blanca (Font, 1990). En los troncos gruesos, la madera es pesada y muy dura; debe de secarse muy lentamente, dado que tiende al alabeo y agrietamiento (Abella, 2000). La corteza externa es agrietada y de color marrón cenizo, a veces se desprende en placas de forma rectangular. La corteza interna es blanquecina (Reynel & Marcelo, 2009). Las hojas son compuestas y opuestas y miden de 20 cm a 30 cm de longitud. Son muy flexibles y con 5 a 11 hojuelas de 5 cm a 8 cm de longitud por 1,5 cm a 2 cm de ancho. Tienen un borde regularmente aserrado, con unas protuberancias diminutas, de

1 mm de longitud (Reynel & Marcelo, 2009). Posee taninos, amarillo verdoso (Bremness, 1993). Esta especie se reconoce por su follaje siempre verde y abundante (Abella, 2000).

Las flores son racimos terminales de 15 cm o más de longitud; cada flor, hermafrodita, tiene 5 pétalos, 5 estambres y un pistilo (Reynel & Marcelo, 2009). La corola tiene de 4 a 5 mm de diámetro, forman una estrellita de cinco puntas que se desprende y se cae con facilidad, entre cada dos puntas de la estrella se encuentra un estambre, alternando los cinco estambres con los cinco lóbulos de la corola (Font, 1990). Los frutos son bayas de forma globosa, miden de 8 mm a 10 mm de diámetro, jugosos y comestibles. Del fruto se obtienen un tinte de rojizo a negruzco cuando está maduro y azul, lila o violeta en estado inmaduro (Abella, 2000). Tienen de 3 a 6 semillas cada uno (Reynel & Marcelo, 2009).

Composición química y sustancias activas

Entre las sustancias constituyentes del saúco, están los aceites volátiles y fito-esteroles (Cruz *et al.* 2011), mucílogo, taninos, vitaminas A y C, glucósidos, cianógenos, ácido vibúrnico, alcaloide (Ody, 1993). En las hojas se encuentra un glucósido, que mediante un fermento parecido a la emulsina, produce glucosa, aldehído bencílico y una cantidad de cianhídrico. De acuerdo a Font, 1990 En el extracto de hojas se ha determinado la presencia moderada de esteroles con efecto insecticida sobre la mosca *Haematobia irritans*, alcaloides sambucina y sambucigrina (Font, 1990). Los principales componentes de las flores son los aceites esenciales, los glucósidos sudoríferos, los flavonoides, materias tánicas, resinosas, azúcar, eldrina (rutina), colina, ácidos málico, valeránico y tartárico, y un glucósido nitrílico (Font, 1990, Pahlow, 1985). En la corteza existe también el mismo alcaloide de las hojas, y fitosterina, ácido resínico, flobafeno, materias tánicas, los ácidos esteárico y mirístico (Font, 1990). Los frutos contienen alrededor de un 80% de agua, pentosonas, azúcar invertido, un poco de aceite, proteínas,

ácido málico y taninos. Contienen también el mismo glucósido productor de cianhídrico (Font, 1990). Los frutos maduros son ricos en vitaminas y minerales (Pahlow, 1985).

De acuerdo a estudios realizados por Jaramillo & Jiménez (2000) y Apráez *et al.* (2012), en el forraje de *S. nigra* se ha encontrado, composición y contenidos importantes de nutrientes para la suplementación animal, tales como: materia seca desde 14,1-19,6%, materia orgánica 88,9 - 89,8%, fibra detergente neutro (FDN) de 19,4 y 23,4%; fibra detergente ácido (FDA) de 15,8 y 17,28 %, proteína cruda desde 21,1-23.8%; extracto etéreo desde 1.9-5.2 %; cenizas desde 11,1-12.1%; calcio desde 0,91-1,90%, magnesio desde 0,61-0,78%

Silvicultura

Reproducción del saúco

Puede propagarse por semillas y por reproducción vegetativa. Presenta hermafroditismo sexual y polinización entomófila. La especie suele emitir propágulos a partir de las raíces más superficiales que posibilitan su multiplicación (Albert *et al.*, 2008). La forma de reproducción más común es vegetativa, por ser más rápida y efectiva (Fuentes, 2011).

Reproducción sexual

La semilla presenta un porcentaje de pureza del 98 al 99%. Para la conservación de las semillas, el almacenamiento se debe hacer a temperatura de 4°C, en un recipiente hermético y el contenido de humedad debe estar entre 4-8 % (Albert *et al.*, 2008). Se han reportado dos tratamientos pre-germinativos: 1) Estratificación en caliente (6-12 semanas) + estratificación en frío (12 semanas) y, 2) Estratificación en frío (12 semanas) + congelación (1 día). Con estos tratamientos se reporta un porcentaje de germinación 45-85% (Albert *et al.*, 2008). La siembra se hace a una profundidad de 2,5 cm, en bolsas con capacidad de 0.5 o 1 kg (Uribe *et al.*, 2011). El sustrato se conforma con tierra

negra, aserrín y abono orgánico (Jaramillo & Jiménez, 2000). Las plántulas en vivero, se deben tener en una posición entre el sol y la sombra (Bremness, 1993). No se encontró información sobre los porcentajes de mortalidad, duración de días de germinación, por lo tanto se requiere adelantar investigaciones relacionadas con este aspecto.

Reproducción asexual

La propagación debe realizarse bajo polisombra, mediante estacas, que se toman de árboles sanos. La longitud de la estaca debe estar entre 18 y 30 cm, diámetro entre 2 y 4 cm, lignificadas, con por lo menos tres nudos. Lo anterior permite garantizar un mejor prendimiento del material (Hernández, 2011). Para el corte de las estacas se utiliza el tercio medio y superior de las ramas (Uribe *et al.*, 2011). Se debe colocar con una o dos yemas (basales) cubiertas en el suelo, donde formarán raíces y las demás yemas (apicales) deben quedar descubiertas para formar las ramas y las hojas del arbusto. Para estimular el prendimiento y el crecimiento de raíces, se recomienda remojar el extremo de la estaca con mucílago de sábila (Uribe *et al.*, 2011). En evaluación de reproducción asexual de material se ha encontrado un prendimiento de 99,3% y sobrevivencia del 84.33% (Cruz & Moreno, 2009).

Vivero

En el vivero se debe aplicar riego abundante (Jaramillo & Jiménez, 2000), procurando mantener el sustrato húmedo, pero evitando excesos, ya que esto puede generar problemas fitosanitarios (Jaramillo & Jiménez, 2000). En los procesos de reproducción, no se evidenciaron enfermedades que pudieran afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas, lo que hace poco vulnerable al ataque de plagas y enfermedades en vivero. El trasplante al lote se realiza a los seis meses de sembradas las estacas en las bolsas (Uribe *et al.*, 2011). Es una especie pionera, es decir de rápido crecimiento (Cruz & Moreno, 2009). La fertilización, se registró con productos a base de estiércol de

bovino, leche cruda, melaza de caña de azúcar y agua no contaminada. En reproducción vegetativa ha permitido obtener plantas más desarrolladas en menor tiempo (Cruz & Moreno, 2009).

No se tiene información bibliográfica sobre las características del material que sale del vivero a campo. Sin embargo, Galindo *et al.*, (2003), recomienda para sistema de cercos vivos, sembrar árboles con altura promedio de 30 cm, dado que presentan desarrollo radicular y foliar que le permiten adaptarse al medio. Adicionalmente, el material debe encontrarse vigoroso y en buen estado fitosanitario.

Establecimiento y manejo en campo

La siembra se puede hacer de forma directa en el lote o por trasplante de plántulas del vivero. Se realiza ahoyado en el suelo de acuerdo con el tamaño de la bolsa que se utilizó en vivero. Se adicionan, en el fondo, 0,25 kg de materia orgánica, 30 g de micorrizas o 50 g de fertilizante completo. Se deben eliminar las bolsas de aire del suelo y realizar aporque para que el cuello de la raíz quede cubierto (Uribe *et al.*, 2011). Con relación a las distancias y arreglos en la siembra, éstas se definen de acuerdo al sistema que se implemente, ya sea bancos de forraje, cerco vivo, barreras o cortinas rompe vientos, o sistemas para ramoneo. Todo lo anterior constituye una línea de investigación, en sistemas agroforestales.

Bancos de forraje mixto

El saúco es de gran utilidad para establecer bancos forrajeros mixtos, que son sistemas de corte y acarreo, caracterizados por la inclusión de especies leñosas y herbáceas en altas densidades (Galindo *et al.*, 2003). La distancia de siembra recomendada es de 1 m entre plantas y 1 m entre surcos (Uribe *et al.*, 2011). Para el manejo en este sistema, se realizan dos cortes al año, entre los nueve y doce meses de establecido, a una altura de 50 a 70 cm. Las hojas, pecíolos y tallos no lignificados, se pueden suministrar de manera directa

a los animales para su consumo. Se debe fertilizar con materia orgánica, también se puede emplear abono foliar en dosis de 20 g por bomba de fumigación de espalda de 20 L. (Uribe *et al.*, 2011).

Barreras o Cortinas Rompe vientos y cercas vivas

Por ser una especie de rápido crecimiento y tener una copa densa, es ideal para este uso (Galindo *et al.*, 2003, Alzate *et al.*, 2013). No se encontró información en relación al establecimiento y manejo del sistema de barreras vivas con saúco, por lo tanto, es importante adelantar ensayo e investigaciones en este sentido. Sin embargo, para este sistema como información general, se tiene realizar la siembra de los árboles en surcos dobles alternando los sitios de una fila a otra, al estilo de siembra al “tres bolillo” para que sean más efectivas en su estructura física, distancia de 1 a 1,5 m entre plantas, y proteger del ganado (Galindo *et al.*, 2003).

Para el sistema de cercas vivas las plántulas se siembran con una altura promedio de 30 cm. a una distancia de 3 m entre plántulas, que se deben aislar, hasta que tenga dimensiones adecuadas. La primera fertilización se efectúa 20 días después de la siembra. Mientras las plántulas crecen se debe controlar el crecimiento del pasto alrededor de ellos y efectuar podas de formación. Una vez los árboles han crecido lo suficiente, 2, 3 m. de altura, se procede a sostener el alambre con tubo aislador y grapas (Galindo *et al.*, 2003).

Sistema Silvopastoril para ramoneo

El establecimiento del saúco en un sistema silvopastoril, contribuye a mejorar las condiciones microclimáticas y de calidad nutricional de la pradera. Por sus condiciones de rápido crecimiento y facilidad de rebrote, permiten el consumo directo de forraje, que tiene alto valor nutricional para los animales (Sánchez *et al.*, 2010). Para estos sistemas según Uribe *et al.*, (2011), se tienen las siguientes recomendaciones: a) El primer pastoreo se

realiza entre cinco y seis meses luego de sembrados (cuando el saúco y los pastos estén vigorosos), con animales jóvenes para evitar la compactación del suelo. Se hacen rotaciones con cerca eléctrica. b) Para la fertilización se debe aplicar material orgánico compostado, cada tres meses a partir del tercer mes de sembrado, con 250 g por arbusto. También se puede emplear abono foliar en dosis de 20 g (una cucharada) por bomba de fumigación de espalda de 20 L. c) Podar entre los tres y seis meses de sembrado (altura entre 25 y 70 cm); después del primer pastoreo hacer podas de mantenimiento a 1 m de altura cada seis meses. Luego de varias podas se debe hacer una de rejuvenecimiento, por debajo de la altura de corte acostumbrada para evitar engrosamientos del tallo. Hacer el corte siempre de abajo hacia arriba utilizando herramienta bien afilada. d) Para el control de arvenses realizar la primera desyerba entre los 20 y 30 días después de la siembra (Sánchez, et al., 2010).

Plantaciones para la producción de frutos

Para el establecimiento de plantaciones, el distanciamiento utilizado es 4 x 5 m entre plantas e hileras. El manejo silvicultural del saúco requiere buen suministro de agua, podas de formación (a partir del cuarto o quinto mes), limpieza de arbustos y malas hierbas (Brack, 1999).

Usos y beneficios

Usos tradicionales

Entre los usos tradicionales, el saúco se cultiva como ornamental y medicinal en climas templados y fríos. Con los frutos frescos y maduros se elaboran mermeladas, jarabes y vinos (Alzate et al., 2013). El saúco es una especie melífera, importante para tener en los huertos y proporciona sombrío tenue a los cultivos (Fonnegra & Jiménez, 2006).

Las hojas en los cultivos repelen ratones, topes (Fonnegra & Jiménez, 2006) y sabandijas (Abella, 2000). Igualmente, quemadas son insecticida,

mientras que la infusión se usa como repelente de mosquitos y rociada sobre las plantas sirve como protección contra los pulgones y las orugas (Sánchez et al., 2010). Se utilizan para el control de plagas como por ejemplo los áfidos, se ponen a cocer 1 litro de agua y 225 g. de hojas durante 20 minutos, se remueve bien, se cuela y se deje enfriar, y se adiciona una cucharadita de detergente líquido o en polvo en 570 ml. Las ramas podadas anualmente sirven de nido a diversas especies de avispas predadoras, que limitan la proliferación de pulgones, orugas, alticas, cicadelas y algodones (Abella, 2000).

Las flores del saúco constituyen verduras comestibles (Sánchez et al., 2010), se pueden comer cocidas o rebosadas y fritas. Durante siglos se ha obtenido vino (Bremness, 1993), donde maceradas le otorga un olor aromático y sabor añejo (Abella, 2000). Sirven como droga en la medicina veterinaria. Se relaciona con ritos mágico-religiosos donde simbolizan el amor (Botero, 2011). Los frutos deben ser consumidos en estado de madurez avanzada, ya que estados previos o demasiados verdes originan toxicidad. Las semillas producen indigestión a pesar de la madurez del fruto, razón por la cual no se debe exagerar el consumo directo del fruto fresco (Sánchez et al., 2010). En México, las bayas ricas en vitamina C, son ingrediente de confituras.

La madera del saúco es bastante dura, muy valorada para ebanistería y construcción de herramientas agrícolas. Por la facilidad con que se extrae la medula de las ramas, son utilizadas para la fabricación de flautas, canutillos empleados por tejedores, cerbatanas y tubos de recipientes (Abella 2000, Sánchez et al. 2010). También se utiliza para cajas, peines, cucharas, tenedores, cercas, corrales y para leña (Rojas et al., 2011).

Los usos antes mencionados permiten evidenciar que el saúco ha sido utilizado tradicionalmente con múltiples fines. Como puede verse, todas las partes de la planta presentan características de gran potencial para ser aprovechadas por el hombre, lo

que hace de esta una especie de gran potencial y valor natural, agronómico, cultural y económico.

Usos medicinales

El saúco contiene diferentes compuestos químicos, que proporcionan numerosas propiedades terapéuticas (Sánchez *et al.*, 2010), por lo que no es casualidad que crezca cerca de los establos, pajares y viviendas campesinas. Firmemente anclada en el Folklore, a menudo se describe a esta planta como “un botiquín completo”, por sus incontables cualidades terapéuticas y profilácticas (Sánchez *et al.*, 2010). Se utiliza desde la edad de piedra (Pahlow, 1985). En Gales existen reportes desde del siglo VI. (Tejero, 2012). En Europa está documentado el uso desde el siglo XII en *The Physicians of the Myddavai*, tratado que recoge los conocimientos tradicionales sobre las curas y remedios que se preparaban a base de esta especie. En el siglo XVII era uno de los remedios para eliminar la flema, como diurético y purgante (Bennati, *et. al.* 2001). En el siglo XVIII, el agua de saúco se utilizaba como blanqueadora de la piel y para eliminar la pecas (Ody, 1993). En 1651 se publicó Anatomía Sambuca”, tratado donde se recoge aproximadamente hasta 70 enfermedades que pueden ser tratadas con remedios preparados a base de saúco. En esta misma época en Inglaterra, hacía referencia como la especie que más se ha desarrollado y estudiado en medicina (Tejero, 2012). Poco utilizado en la actualidad (Ody, 1993).

Las partes de la planta que usualmente se utilizan para usos medicinales, son la flor y la hoja (Díaz, 2003). Dentro de estos usos se encuentra el uso como febrífugo y analgésico alternativo en pacientes con SIDA (Rivas *et al.*, 2005). Los flavonoides poseen acción antioxidante e inmunológica (Laffita & Castillo 2011, Ruiz *et al.* 2013). El saúco reduce la secreción excesiva de mucosidad en los senos paranasales en pacientes con sinusitis causada por bacterias (Laffita & Castillo, 2011). Tiene propiedades antigripales, puede aliviar síntomas similares a los de la gripe como fiebre, fatiga, dolor de cabeza, dolor de garganta, tos y dolor generalizado, en

menos de la mitad del tiempo que toma curarse normalmente (Laffita & Castillo, 2011). Otro beneficio medicinal es su capacidad hipocolesterolémica y que el jugo de las bayas en ocasiones ha disminuido la concentración sérica de colesterol e incrementado la estabilidad de las lipoproteínas de baja densidad (Laffita & Castillo, 2011).

Partes del árbol y sus usos medicinales:

Las hojas tienen uso externo de piel y ojos, y como infusión (Laffita & Castillo, 2011), fueron populares en forma de ungüento (Ody 1993, Bremness 1993). La decocción se usa para hematomas, contusiones, torceduras y otras alteraciones de la piel como heridas, quemaduras, inflamaciones, escaldaduras, eczemas, forúnculos y hemorroides, y para conjuntivitis en compresas y lavados oculares. Se emplea en crema para la piel y contra los sabañones, bien cargada de flores se utiliza como antirreumática (Fonnegra & Jiménez, 2006). La infusión de las hojas son: sudoríferas, en infusión al 1% (Font P, 1990), laxantes (Baudi, 1987), incluso para niños (Fonnegra & Jiménez, 2006). Secas se emplea para tratar los resfriados, catarros de las vías respiratorias superiores y trastornos nerviosos. También se utiliza como galactógeno, expectorante, estimulante circulatorio, diurético, antiinflamatorio tópico (Fonnegra & Jiménez, 2006). En baños se utiliza para el dolor del cuerpo (Rojas *et al.*, 2011).

Las flores presentan principios activos como ácido ascórbico, sitosterol, rutina y sambunigrina. Son antiinflamatorias y se utilizan para problemas reumáticos, dolores musculares, inflamaciones respiratorias, infecciones y gastritis (Pahlow, 1985). Sus flores son preparadas en infusión para la tos. Tiene importancia en el uso medicinal en municipios mexicanos (Coral *et al.*, 2011), donde se ha utilizado como diaforético, diurético, bérquico, laxante, calmante, excitante, purgante, expectorante, emético (Fonnegra & Jiménez, 2006). Los aceites esenciales, los taninos y los flavonoides ayudan a la digestión, alivian la inflamación y el dolor abdominal. Se pueden hacer gárgaras para

el dolor por inflamación de las amígdalas, curar úlceras bucales, irritación de garganta e inflamaciones de las encías (Ody 1993, Gobierno Regional Cajamarca, 2012). Son un excelente sudorífero y un calmante de la tos administradas en infusión al 2%; la misma infusión se usa para lavar los ojos, curar la conjuntivitis. En lociones y compresas contra las manchas del rostro de las embarazadas. Se considera que la infusión de las flores calma los nervios, alivia el dolor de cabeza (Fonnegra & Jiménez 2006). Limpia la sangre, cura impurezas de la piel y elimina el mal olor corporal (Pahlow 1985). Es expectorante, anticatarral, estimulante circulatorio, diurética y diaforética y en compresas controla la erisipela (Font 1990, Ody 1993, Thole et al 2006, Baudi 1987).

Para resfriados, tos y neumonía se utiliza de 1 a 2 flores en infusión o bebida. Para la garganta se hierven 4 a 5 flores, en 1 L de agua y se realizan evaporaciones, y para cólicos menstruales y dolor de vías urinarias (Rojas et al., 2011). Las flores o cogollos frescos machacados y aplicados en cataplasmas se usan para aliviar las almorranas, curar quemaduras y escoriaciones de la piel. En forma de compresa se emplea para descansar los ojos, y en baños para la limpieza de cutis. El vinagre de flores, se emplea como desinfectante y para compresas febrífugas (Fonnegra & Jiménez, 2006). En pomadas se utiliza para las quemaduras y los sañaones (Bremness, 1993).

Los frutos cocidos hacen brotar el sarampión, las viruelas, la roséola, cuando la erupción tarda en manifestarse (Font, 1990). El zumo de las bayas se ha utilizado como purgante y se administra como compota contra la tos y los resfriados (Pahlow, 1985), y combinado con limón y miel de abejas para la constipación, dolor de garganta, gripes y bronquitis. Frescos y maduros se usan como laxantes y adelgazantes; también para trastornos nerviosos producidos por el insomnio, la migraña, los dolores de cabeza e inflamaciones (Fonnegra & Jiménez, 2006). También se utilizan para la elaboración de vinos y jarabes para los enfriamientos del invierno (Ody, 1993).

La segunda corteza (después de raspar la porción externa) es purgante, se hierven 30 g en 250 mL de agua, y se toman en dos veces, dejado entre ambas 10 minutos (Font, 1990). Es purgante y estimulante hepático, emético, diurético y en uso tópico emoliente (Baudi 1987, Fonnegra & Jiménez 2006). Se utiliza para la hidropesía, 250 g de corteza fresca en 1 L de vino blanco. Es de carácter calorífico, estimulante hepático para el estreñimiento. La raíz se utiliza como diurética y emoliente (Fonnegra & Jiménez, 2006).

Precauciones que se deben tener en el uso medicinal del saúco:

Las hojas y la corteza deben usarse con precaución, se han observado en ocasiones irritaciones en el estómago y el intestino. Las hojas poseen glucósidos cianogénicos, que pueden producir la muerte al hidrolizarse en el tracto gastrointestinal (por liberación de cianuro). En dosis altas, cualquier preparado de las hojas, produce sofocación, diarrea, dolor de cabeza, abundante sudoración y respiración entrecortada y sibilante (Fonnegra & Botero, 2006). Las bayas inmaduras no deben comerase porque son ligeramente tóxicas. El jugo cocido es muy recomendable, pero crudo ocasiona a veces náuseas, vómitos y diarrea. Como compota, por el contrario, es muy sano porque contienen vitaminas y minerales valiosos (Pahlow, 1985). La Corteza no debe emplearse durante el embarazo, ya que es un purgante muy fuerte (Ody, 1993).

Recolección para usos medicinales

La inflorescencia se colecta joven. Para secarla al aire, se extiende en capas delgadas en un lugar fresco y ventilado. Luego se guarda en recipientes bien cerrados, en un lugar fresco y seco. La flor seca debe conservar su color natural (Fonnegra & Jiménez, 2006). También la corteza se desprende de las ramas jóvenes y se la seca a la sombra o con calor artificial, sin sobrepasar la temperatura de 40°C. Las bayas (frutos) deben estar totalmente maduras (de color violeta a negro) en el momento de la recolección (Pahlow, 1985). Es muy

importante que los diferentes procesos de secado sean muy cuidadoso, para que la fermentación no destruya sus principios activos (Pahlow, 1985).

Beneficios en sistemas de producción agropecuaria

De acuerdo a lo reportado por Cárdenas *et al.*, (2011), los resultados de los análisis bromatológicos muestran al saúco como una alternativa nutricional interesante, pues tiene un alto porcentaje de proteína con bajas cantidades de fibra, con alta palatabilidad y la digestibilidad. Además tiene características de degradabilidad de la materia seca, ofrece mayor cantidad de proteína comparados con una gramínea. En el trópico alto (clima frio, altura superior a los 2000 msnm), no se presentan problemas fitosanitarios (plagas y/o enfermedades) que comprometan la viabilidad de las plantas y por ende la persistencia del cultivo saúco (Isaza, 2006).

Rumiantes

Tradicionalmente se le atribuye al saúco, tanto fresco como ensilado, un efecto galactogogo, es decir que estimula la producción de leche debido a su equilibrio proteico ↔ energético (Jaramillo, 2000) también aumenta la proporción de grasa (Jaramillo & Jiménez, 2000). Algunas evaluaciones han permitido caracterizar la composición nutricional, donde se encontró mayores porcentajes de las fracciones solubles nitrogenadas; dando como conclusión que puede sustituir parcialmente la proteína del concentrado con la proteína del saúco (Carvajal *et al.*, 2012). Cárdenas *et al.*, (2011), encontró un aumento en gusto por consumo de saúco en sistemas pastoriles intensivo (zona alto Andina de Roncesvalles). En fincas del Sumapaz, se encontró un alto consumo del forraje y aumento en la producción de leche (Hernández, 2011). Sin embargo, este gusto pueden variar por la combinación con otros vegetales como se encontró, en mezclas en seco de Saúco-Kikuyo por las degradabilidades que pueden tener a nivel ruminal (Jaramillo, 2011).

El forraje contiene proteína cruda entre 21.1-23.8%, FDN: 19.4-23.4% y FDA: 5.8-17.3%, ofreciendo un buen aporte nutricional para la alimentación animal. Según Álvarez (2000), los árboles forrajeros con bajos contenidos de FDN (20-35%) presentan usualmente alta digestibilidad. Si en la ración se incluye más del 22% de fibra se perjudica la capacidad de consumo de alimento del animal, además de afectar directamente la actividad de la flora microbial, de cuyo desempeño depende la producción y la calidad de la leche (por la lenta degradación en el rumen) (Carvajal 2010). Si el contenido de fibra es menor de 17% de la materia seca, el porcentaje de grasa en la leche se reduce (Koeslag, 1996).

Al suplementar en la dieta de terneras Holstein con saúco, obtuvo ganancias de peso mayores a las reportadas con Kikuyo (Chamorro & Carvajal 2005), al mezclarlos se encontró un aumento en la producción de leche de 18L/vaca día (vd) a 23 L/vd (Hernández, 2011). En sistema silvopastoril compuesto por *Alnus acuminata*, Saúco y pasto kikuyo, se encontró mayor producción de leche (9 L/vd) con respecto a potreros de solo pasto (7.5 l/vd). Caso similar se encontró cuando se dio suplemento con harina de Saúco (Cárdenas *et al.*, 2011). En estudios realizados en fincas del Tolima bajo ramoneo (2800 msnm), se encontró el Saúco, como buena alternativa para la producción de leche en Ganado Pardo Suizo (Montenegro & Cadosh, 2011).

La investigación en Colombia tiene pocos reportes acerca del uso de Saúco en ramoneo directo. Sin embargo, con esta revisión se encuentra que es beneficioso en sistemas mixtos ya sea de manera directa o indirectamente, dado que disminuye el impacto de la ganadería al suelo, aumenta su capacidad de carga por potrero, los rendimientos y calidad por animal tanto en carne como en leche (Montenegro *et al.*, 2011). Lo anterior, muestran al Saúco como una alternativa de alimentación forrajera en rumiantes de trópico alto y de fertilización pasiva en potreros.

Especie Mono-gástricos

Como prebiótico natural en el engorde de pollos en el Ecuador, se encontró que el Saúco tiene incidencias positivas dado que bajó la mortalidad y aumentó la ganancia de peso (Arévalo, 2013). Estos resultados se dan debido a que los prebióticos promueven la proliferación de las bifidobacterias en el colon, que a su vez promueven la proliferación del lactobacilos en el intestino delgado (Sorianio, 2003).

En sistemas productivos con Cabras, en México, el Saúco sobresale por su contenido de proteína cruda y digestibilidad. Sin embargo, los niveles de consumo al utilizar el Saúco tanto como dieta así como suplemento no han superado el 3% (en relación a base seca) del peso vivo de los animales. Las ganancias de peso que se han obtenido tanto en bovinos como en caprinos han sido bajas (12-40 g/día). (Arias, 2009).

Con el fin de poder formular raciones que sean efectivas en pastoreo con forrajes de trópico alto, y teniendo en cuenta el potencial genético de los animales, es necesario evaluar el efecto del Saúco en la alimentación de otras especies de rumiantes (caprinos, ovinos) y mono gástricos como los conejos (Jaramillo, 2011). También se debe investigar en animales adultos y en calidad de producción en términos de cantidad y calidad de leche. Realizar otros trabajos de investigación evaluando las degradabilidades y digestibilidades del Saúco en diferentes edades de la planta ya que los que se encuentran son muy pocos.

Efecto del saúco sobre el pasto kikuyo

El saúco no compite o relega a otras especies, como se reportó al combinarlo con pasto Kikuyo, donde no alteró negativamente las dinámicas de crecimiento de la pastura, en algunos eventos se vio que aumento en biomasa cuando estaba presente el saúco (Cárdenas et al., 2011).

Beneficios ambientales

El uso de la especie *S. nigra*, acelera los procesos de descomposición y fija el nitrógeno en los suelos, sus raíces segregan auxinas, que contribuyen a un mejor desarrollo de la vida vegetal (Abella 2000, Pahlow 1985). Sánchez et al., (2010), encontró efectos secundarios positivos en sistemas silvopastoriles, donde estaba presente el Saúco. Dado el incremento del contenido de nutrientes en suelo, mediante el bombeo y restablecimiento de flujos de elementos como fósforo, calcio, potasio y magnesio. La especie *S. nigra*, tiene un elevado potencial para llegar a ser la solución a la disminución de las emisiones de metano, dado que presenta en su estructura de metabolitos secundarios, taninos y un adecuado equilibrio entre sus componentes fibrosos y su aporte proteínico a la dieta (Apráez et al., 2012). Esto conlleva al desarrollo de diversos procesos metabólicos que promueven la formación de compuestos necesarios para el mantenimiento de la microbiota ruminal, que afecta la relación de ácidos grasos volátiles, y regulan la producción de hidrógeno y la consecuente generación de metano en el rumen (Carmona et al., 2005). Igualmente, es de destacar que el sombrío sobre el ganado beneficia al animal en su respuesta dinámica en el ordeño, su mudanza y el empleo energético que demanda su movilidad dentro del predio (Coral et al., 2011). Por lo anterior se convierte en una alternativa para sistemas agrosilvopastoriles en una región en donde las opciones son limitadas (Cárdenas et al., 2011).

Beneficios económicos

Desde el punto de vista económico, la incorporación de forraje arbóreo *S. nigra* en las dietas puede llegar a reemplazar hasta un 20% de la proteína lo que permite un ahorro económico. Con la ventaja adicional de que estos follajes contribuyen a disminuir la dependencia de insumos externos, al ser producidos en la propia explotación (Carvajal et al., 2012, Cárdenas et al., 2001). Además, el establecimiento de cercas vivas implica una reducción en costos con

respecto a las cercas muertas, reduce desde el punto de vista ambiental la presión sobre el bosque por la búsqueda de postes y leña. Lo que trae a su vez un beneficio económico a largo plazo. Así mismo, estas cercas vivas ofrecen follaje en cantidad y de calidad durante la época seca (Palomeque, 2009). Dentro de la producción, encontramos, la importancia económica que poseen los constituyentes de la leche, especialmente la grasa y la proteína. Al hacer la evaluación económica del uso de follaje arbóreo en la suplementación de vacas Holstein, se encontró que el mayor beneficio neto parcial fue con Saúco. Lo que se traduce como menor costo del kg de suplemento y la mayor producción de leche (Jaramillo & Jiménez, 2000).

Beneficios en control de plagas

En el departamento de Boyacá, se reportó el efecto insecticida de los extractos etanólicos de *S. nigra*, con respecto a las garrapatas pequeñas, en las grandes no se encontró efecto (Rodríguez et al., 2010). Otra investigación encontró poca eficacia contra las garrapatas, dado que al aplicar extractos de Saúco, la mortalidad máxima alcanzada fue de 50 % (Castelblanco et al., 2013). De esto podemos desprender la importancia de realizar estudios sobre el efecto ixodicida de la especie, usando otras técnicas que permitan definir sus beneficios repelentes y efectos tóxicos para el control de plagas.

Conclusiones y Recomendaciones

Entre las alternativas en sistemas silvopastoriles, se tiene el Saúco como especie multipropósito, el cual por sus propiedades permite ser implementado bajo diferentes herramientas de manejo del paisaje y proporciona forraje de buena calidad,

mejora las condiciones de la leche, aporta en la protección de los recursos y en general ofrece diversidad de subproductos que pueden ser aprovechados con diferentes fines.

La implementación del saúco en sistemas silvopastoriles del trópico alto, permite generar condiciones de confort para los animales y disponer de suplemento alimenticio, reducción de costos en la producción, además genera beneficios ambientales como la protección de suelos y de fuentes hídricas, reduce la producción de gas metano y propicia condiciones para el albergue de fauna.

La mejor recomendación que se puede hacer es incluir en dieta de bovinos el forraje de Saúco, ya que los análisis bromatológicos muestran buena calidad nutricional en cuanto a porcentaje de proteína, FDN y FDA, entre otras características que permiten evidenciar el aporte de nutrientes para la nutrición animal. Adicionalmente, es una especie que por sus características nutricionales mejora las características de la leche en cuanto a grasa y sólido totales.

Establecer Saúco en sistemas silvopastoriles, como cercos vivos, sistemas de ramoneo, bancos forrajeros, para la elaboración de ensilaje y como barreras o cortinas rompe vientos, permite disponer de suplementos alternos de gran valor nutricional cuando escasea el forraje. Especialmente si se tiene en cuenta que el corte del forraje se puede hacer entre los 60 y 80 días, donde se garantiza un buen suministro de proteína al ganado vacuno.

Otras razones para recomendar esta especie en la inclusión de los diferentes sistemas mixtos, es que ofrece beneficios terapéuticos, alimenticios, maderables, ornamentales, aporte en la producción agropecuaria y servicios ambientales, entre otros.

Literatura citada

1. Abella, I. (2000). La Magia de los Árboles (tercera edición). Asturias: Integral. 292 p
2. Albert, N., Almeida, M., Andrés, J., Añibarro, J., Arizpe, D., Del Campo, A., Campos, E., Feria, C., Gálvez, C., García, J., Jiménez, P., Martínez, F., Pérez, E., Picher, M., Prada, M., Rueda, J. & Ventimilla, P. (2008). Manual de Propagación de Árboles y Arbustos de Ribera. Una ayuda para la restauración de riberas en la región mediterránea. Valencia, España. 205 p. Graffiques Vimar.
3. Alzate F., Idárraga A., Díaz O. y Rodríguez W. (2013). Flora de los bosque montanos de Medellín. Programa Expedición Antioquia 2013, series Biodiversidad y Recursos Naturales. Alcaldía de Medellín, Universidad de Antioquia. 552 p.
4. Apráez, J. E., Delgado, J. M., & Narváez, J. P. (2012). Nutrient content, in vitro degradation and gas production potential of grasses and forage trees and shrubs found in the high tropics of Nariño. [Composición nutricional, degradación in vitro y potencial de producción de gas, de herbáceas, arbóreas y arbustivas encontradas en el trópico alto de Nariño] *Livestock Research for Rural Development*, 24 (3)
5. Arévalo D. (2013). Utilización de Tilo (*S. nigra* L.) como prebiótico natural en el engorde de pollos. Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ciencias Agropecuarias Escuela De Medicina Veterinaria Y Zootecnia.
6. Arias R. (2009). Experiencias sobre agroforestería para la producción animal en Guatemala. Recuperado de: <http://www.fao.org/ag/aga/agap/frg/agofor1/arias22.htm>
7. Benavides J. (1998). Árboles y arbustos forrajeros en América Central. Centro Agronómico Tropical de investigación y Enseñanza, CATIE, Turrialba, Costa Rica, programa de agricultura sostenible, 1994. V. 1 (420 p) p. 171-178
8. Blanco G., Chamorro D., & Arreaza L. (2005). Predicción de la respuesta productiva en bovinos lecheros suplementados con ensilaje de *Sambucus peruviana*, *Acacia decurrens* y *Avena sativa* usando el modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNPS) en Colombia. *Revista Corpoica*, 6(2), 86.
9. Bremness L. (1993). Manual del Herborista. Guía Práctica para el Uso y Cultivo de Plantas Aromáticas y Culinarias. Madrid. Edición Española, Editorial Raíces, S.A. 285 p.
10. Botero H. (2011). Plantas Medicinales, pasado y presente. Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – Corantioquia. Colombia, Medellín. 199 p.
11. Cárdenas C, Rocha C y Mora J. (2011). Productividad y preferencia de forraje de vacas lecheras pastoreando un sistema silvopastoril intensivo de la zona alto Andina de Roncesvalles, Tolima. *Revista Colombiana de Ciencia Animal*, Vol. (4, Nº. 1)
12. Carvajal T., Lamela L. & Cuesta A. (2012) Evaluación de las arbóreas *S. nigra* y *Acacia decurrens* como suplemento para vacas lecheras en la Sabana de Bogotá, Colombia. *Pastos y Forrajes*, vol. 35, núm. 4, octubre-diciembre, 2012, pp. 417-429.
13. Castelblanco, L., Sanabria, O., Cruz, A. & Rodríguez, C. (2013). Reporte preliminar del efecto ixodicida de los extractos de algunas plantas sobre garrapatas *Boophilus microplus*. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*. 18 (1) 118-130.
14. Coral, D., Coral, J. & Muñoz, D. (2011). Caracterización del Conocimiento Local del Componente Arbóreo en Fincas Ganaderas. *Revista de Ciencias Agrícolas Año 2011 - Volumen XXVIII No. 2 P 18 – 30.*
15. Cruz A., Rodríguez, C. & Ortiz, C. (2011). Efecto insecticida in vitro del extracto etanólico de algunas plantas sobre la mosca adulta *Haematobia irritans*. *Revista Cubana de Planta Medicinales*, 16(3):216-226.
16. Díaz, J. (2003). Informe Técnico. Caracterización del mercado Colombiano de plantas medicinales y aromáticas. Instituto Alexander Von Humboldt - El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Bogotá D.C., Colombia.
17. Fonnegra, R. & Botero, H. (2006). Plantas mágico-religiosas. Historias, mitos y leyendas. Colección autores Antioqueños – Caa. Instituto para el Desarrollo de Antioquia-IDEA y Gobernación de Antioquia. Secretaría de Educación para la Cultura de Antioquia. Colombia, Medellín. 227 p
18. Fonnegra, R. & Jiménez, S. (2006). Plantas medicinales aprobadas en Colombia. Medellín. Editorial Universidad de Antioquia. Segunda Edición. 347 p.
19. Font, P. (1990). Plantas Medicinales El Dioscórides Renovado. Editorial Labor, S.A. Barcelona. 1033 p.
20. Fuentes, V. (2011). Frutales Exóticos en Cuba. XII: Caprifoliaceae. *Revista CitriFrut*, Vol. 28.
21. Galindo, W., Murgueitio, E., Giraldo, L., Marín, A., Beirrío, L. & Uribe, F. (2003). Manejo Sostenible de Los Sistemas Ganaderos Andinos. Fundación CIPAV, Cali, Colombia. 213 p.
22. Giraldo, J., Sinisterra, J. & Murgueitio, E. (2011). Árboles y arbustos forrajeros en policultivos para la producción campesina: Bancos Forrajeros Mixtos. Fundación CIPAV. LEISA Revista de Agroecología, Volumen 27 número 2, Páginas 15 a 18.
23. Gobierno Regional Cajamarca (2012). La diversidad Biológica en Cajamarca, visión étnico-cultural y potencialidades, Proyecto Determinación del Potencial de la Biodiversidad Regional de Cajamarca. Gestión del medio ambiente. 205 p
24. Hernández, M. (2011). Ganadería Ecológica, Cartilla 2, Principales especies arbóreas y arbustivas usadas en sistemas silvopastoriles de la región de Suma paz-Colombia. Condiciones agroecológicas, técnicas de propagación y usos en producción ganadera. Universidad de Cundinamarca Sede Principal Fusagasugá y Ciencia gro.
25. Isaza, J. (2006). Evaluación nutricional y agronómica de *Morus alba* L y *S. nigra* L y su utilización en alimentación de rumiantes y monogástricos1. *Revista de Investigación*, 6(2), 189-197.

26. Baudi, J. C. (1987). Plantas Medicinales existentes en Venezuela y Latinoamérica. Caracas, Venezuela. Editorial América, C.A. 260 p.
27. Jaramillo, B. (2011) Evaluación del crecimiento de terneras Holstein con la suplementación de dos niveles de Saúco (*S. nigra*) en pastoreo con kikuyo (p. Clandestinum). *Revista 05/10/2011*
28. Jaramillo, Y. & Jiménez, J., (2000). Evaluación Nutricional de tres Especies de Árboles Forrajeros en la Alimentación de vacas Holstein en el Trópico Alto de Nariño. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Pecuarias Programa de Zootecnia Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 168 p.
29. Juárez, F. (1996). Aportes botánicos de salta - Ser. Herbario MCNS. Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta. Vol. 4 Agosto 1996. Buenos Aires, Argentina.
30. Laffita, O. & Castillo, A. (2011). Caracterización fármaco-toxicológica de la planta medicinal *S. nigra* L subsp. *canadensis* (L). R. Bolli. *Revista Cubana*. 45(4): 586-596.
31. Lovera, J. 2006. Análisis comparativo de las propiedades físicas y químicas del fruto de saúco (*Sambucus peruviana* H.B.K.) evaluadas en dos rangos altitudinales en la parte alta de la cuenca del río Llaucano. Cajamarca – Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. Perú, Lima.
32. Montenegro, Y. & Cadosh, J. (2011). Implementación de un sistema silvopastoril con inclusión de Saúco para el mejoramiento de la producción lechera en ganado pardo suizo en la hacienda kayemet en el municipio de Líbano Tolima. UNAD.
33. Ody, P. (Miembro del National Institute of Medical Herbalist) (1993). The Herb Society Las Plantas Medicinales. Guía práctica con remedios útiles para los trastornos más comunes. Buenos Aires, Argentina. Javier Vergara Editor s.a. 191p.
34. Pahlow, M. (1985). El gran libro de las plantas medicinales, Salud a través de las fuerzas curativas de la naturaleza. España. Editorial EVEREST S.A, Séptima Edición. 465 p.
35. Palomeque, E. (2009) Sistemas agroforestales. Huehuetán, Chiapas, México.
36. Reynel, C. & Marcelo, J. (2009). Árboles de los Ecosistemas Forestales Andinos, Manual de Identificación de Especies. Serie Investigación y Sistematización Nº 9. Programa Regional para la Gestión Social de los Ecosistemas Forestales Andinos ECOBONA-INTERCOOPERACIÓN. Perú, Lima.
37. Rivas, E., Lengua, L., Liu, H., Salazar, A. Román, L., Salvador, L., Rabanal, P., Castañeda, B., Manrique, R. & Ibáñez, L. (2005). Estudio de la actividad analgésica de extractos metanólicos de *Maytenus krukovi* (chuchuhuasi), *Alchornea castaneifolia* (hiporuro), *S. nigra* (saúco) y *Aristeguietia discolor* (pulmonaria) en ratones frenete al ibuprofeno. *Revista Horizonte Médico*, Junio 2005.
38. Rodríguez, A., Rodríguez, C. & Cruz, A. (2010). Efecto ixodida de los extractos etanólico de algunas plantas sobre garrapatas *Rhipicephalus* (*Boophilus*) micro plus. *Rev. MVZ Córdoba* 15 (3): 2175-2184.
39. Rojas, K., Pachar, H. & Zambrano, B. (2011). Seguridad alimentaria y conocimientos locales. Las Mujeres y la Conservación de la agro biodiversidad en la Micro cuenca del Río Chimborazo. Corporación ECOPAR. Fundación Eco Ciencia. Quito, Ecuador.
40. Ruiz, S., Venegas, E., Ruidíaz, D., Horna, L. & López, C. (2013). Capacidad antioxidante in vitro de los flavonoides totales obtenidos de las hojas de *Sambucus peruviana* H.B.K. (SAÚCO) proveniente de la ciudad de Huamachuco. *Revista Farmacia Diciembre 2013* 1(2).
41. Sánchez, L., Amado, G., Criollo, P., Carvajal, T., Roa, J., Cuesta, A., Conde, A., Umaña, A., Bernal, L. & Barreto, L. (2010). El Saúco (*Sambucus nigra* L) como alternativa silvopartorial en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto Colombiano (primera edición). Colombia.
42. Sánchez, L. & Villaneda, E. (2009). Renovación y Manejo de Praderas en Sistemas de Producción de Leche Especializada en el Trópico Alto Colombiano. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica), Colciencias Colombia; Fondo Nacional de Ganadería (Fedegan). Produmendios. Bogotá, Colombia.
43. Sanjinés, A., Ollgaard, B. & Balslev, H. (2006). Frutos comestibles. Botánica Económica de Los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, 2006: 329-346.
44. Soriano, C. (2003). Prebióticos, probióticos y simbióticos. Capítulo 25
45. Tejero, J. (sf). (2012) Caracterización químico-física y toxicológica de las lectinas antinutricionales ebulina f y SELfd de frutos de *Sambucus ebulus* L. (Tesis Doctoral). Universidad de Valladolid, Facultad de Medicina.
46. Thole, J. M., Kraft, T. F. B., Sueiro, L. A., Kang, Y. H., Gills, J. J., Cuendet, M., & Lila, M. A. (2006). A comparative evaluation of the anticancer properties of European and American elderberry fruits. *Journal of medicinal food*, 9(4), 498-504.
47. Uribe, F., Zuluaga, A., Murgueitio ,E., Valencia, L., Zapata, A., Solarte, L., Cuartas, C., Naranjo, J., Galindo, W., González, J., Sinisterra, J., Gómez, J., Molina, C., Molina, E., Galindo, A., Galindo, V. & Soto, R. (2011). Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles. Manual 1, Proyecto Ganadería Colombiana Sostenible. FEDEGÁN – FNG , CIPAV, el Fondo para la Acción Ambiental y la Niñez (Fondo Acción), The Nature Conservancy (TNC), Ministerios de Agricultura y Desarrollo Rural y de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial Global Environment Facility – GEF y el Directorio del Banco Mundial. Bogotá, Colombia. 78 p.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 24 de julio de 2014

Aceptado: 7 de septiembre de 2014

Modelación hidrodinámica y determinación de la calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia

Hydrodynamic modeling and determination of the water quality in the river Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia

Modelagem hidrodinâmico e determinação da qualidade da água em rio Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colômbia

Angel Oswaldo Antonio Paiba¹ & Edinson Fabian Monroy Avila²

^{1,2}Estudiante de Ingeniería Ambiental

^{1,2} Grupo de Investigación Axioma. Facultad de Ciencias agropecuarias e ingeniería.
Universidad de Cundinamarca. Facatativá, Cundinamarca.

swaldo26@gmail.com¹, ingenierofabianm@gmail.com²

Resumen

La presente investigación plantea estudiar el comportamiento hidrodinámico de un tramo del Río Botello comprendido en la zona de influencia de la cabecera municipal de Facatativá, departamento de Cundinamarca, Colombia. En la primera fase, se determinaron las variables hidrodinámicas esenciales para realizar el modelamiento hidrodinámico, además, se determinaron las variables para estudiar la calidad del agua. Para la parte hidrodinámica, se recopiló información de velocidades, áreas transversales, y batimetría. Con respecto a la calidad, se determinaron temperatura, acidez, color, coliformes, sólidos disueltos, DBO5, DQO, nitratos, nitritos, manganeso y hierro. En la segunda fase, se procesó la información para finalmente generar el modelamiento hidrodinámico del río Botello. Se concluyó que la modelación del río Botello se constituye como una herramienta indispensable para la gestión integral del recurso hídrico en el municipio de Facatativá. En los puntos de muestreo hay razones de variación de las variables hidrodinámicas de acuerdo con el tramo

analizado y de la calidad del agua, las cuales están fuertemente influenciadas por las actividades agropecuarias e industriales que se realizan en la zona circundante del sistema hídrico, lo cual atrae grandes problemas de calidad a la oferta del recurso hídrico para los habitantes del municipio que suplen sus necesidades básicas del río Botello. En cuanto a inundaciones, se precisa que el municipio de Facatativá se encuentra en una zona de riesgo en períodos de alta precipitación.

Palabras clave: calidad de agua, evaluación de riesgo, inundación, modelación hidrodinámica

Abstract

This research proposes to study the hydrodynamic behaviour of a section of the Botello River within the area of influence of the municipality of Facatativa, department of Cundinamarca, Colombia. In the first phase, essential hydrodynamic variables were determined for the hydrodynamic modeling, additionally, variables to study the quality of the

water were determined. For the hydrodynamic phase, data of speed, cross-cutting areas, and bathymetry were collected. With respect to the quality, data for temperature, acidity, colour, coliforms, dissolved solids, BOD5, cod, nitrates, nitrites, manganese and iron were determined. In the second phase, the information was processed to finally generate the hydrodynamic modeling of river Botello. It was concluded that modeling of river Botello is an indispensable tool for the integrated management of water resources in the municipality of Facatativá. There are reasons for variation of the hydrodynamic variables according to the analyzed section and the water quality, which are strongly influenced by agricultural and industrial activities carried out in the surrounding area of the water system, which could bring great problems of quality in the supply of the water resource to the inhabitants of the municipality those who satisfy their basic needs of river Botello in sampling points. In terms of flooding, it was establish that the municipality of Facatativá is a risk zone during periods of high rainfall.

Key-words: water quality, assessment of risk, flood, hydrodynamic modeling

Resumo

A presente pesquisa tem como propósito estudar o comportamento hidrodinâmico de um trecho do

rio Botello que se encontra na zona de influencia do município de Facatativá, estado de Cundinamarca, Colômbia. Na primeira fase, se determinou as variáveis hidrodinâmicas essenciais para realizar a modelagem, além de determinar as variáveis úteis para estudar a qualidade da água. Para o estudo hidrodinâmico, se registrou informação de velocidades, áreas transversais e batimetria. A respeito da qualidade, se determinou temperatura, acidez, cor, coliformes, sólidos dissolvidos, DB05, DQO, nitratos, nitritos, manganês e ferro. Na segunda fase foi processada a informação para finalmente gerar a modelagem hidrodinâmica do rio Botello. Foi concluído que a modelagem do rio Botello constitui uma ferramenta indispensável para a gestão integral do recurso hídrico no município de Facatativá. Nos pontos de amostragem, há razões de variação das variáveis hidrodinâmicas de acordo com o tramo analisado e da qualidade da água, as quais estão fortemente influenciadas pelas atividades agropecuárias e industriais que se realizam na zona circundante do sistema hídrico para os moradores do município que satisfazem suas necessidades básicas do rio Botello. Quanto a inundações, seria necessário que o município de Facatativá estivesse em uma zona de risco em períodos de alta precipitação.

Palavras-chave: qualidade da água, avaliação de risco, inundação, modelagem hidrodinâmica

Introducción

Las tradicionales causas de deterioro del recurso hídrico, son la deforestación especialmente en áreas altas de la cuenca, el deseo de expandir la frontera agrícola para cultivos tradicionales de la región, la urbanización causada por fenómenos culturales, el aumento de vertimientos sin control

o tratamiento, y el aumento de residuos sólidos, entre otros, (Mautaco, 2014)

La cabecera municipal de Facatativá, se abastece de agua del Río Botello y fuentes alternativas, tales como el “Río Subachoque y quebradas afluentes

como: Mancilla, San Rafael y La Pava". (Alcaldía municipal de Facatativá, 2001), que suplen la demanda hídrica en temporada seca o períodos de bajos niveles de precipitación, para tener "cobertura de servicio de acueducto de aproximadamente un 94,63%" (Ministerio de vivienda, 2010).

En esta investigación, es utilizado el modelo matemático unidimensional Hec-Ras 4.1.0., software gratuito de origen estadounidense desarrollado por parte del Cuerpo de Ingenieros de la Armada (US Army Corps of Engineering). La investigación propuesta se orientó a modelar hidrodinámicamente y evaluar la calidad del agua del Río Botello, sistema hídrico de gran importancia para el municipio de Facatativá, Cundinamarca, Colombia. (Secretaría de Desarrollo Agropecuario, 2012)

Este trabajo, sienta un precedente importante en el ámbito social, ambiental, económico y académico del sector. El modelamiento de procesos ambientales se aproxima a una realidad del fenómeno, que lo hace predecible, lo cual, brinda beneficios de prevención y mitigación de desastres naturales.

De esta manera, la obtención de parámetros hidráulicos, permite conocer la posible ocurrencia de eventos hidrometeorológicos que pueden impactar catastróficamente al municipio, centrando la necesidad en la predicción del riesgo, asociada a la amenaza hidrológica (nivel del agua) más que en la atención del desastre.

Materiales y métodos

El Río Botello, nace en el Cerro Peñas del Aserradero en la Vereda La Tribuna, a una altura superior de 3.000 msnm, tiene una extensión de 189 km² localizados en jurisdicción de los municipios de Facatativá, Bojaca, Madrid y Mosquera lo cual según la guía básica para la caracterización morfométrica

de cuencas hidrográficas establecida por la Universidad del Valle (2010) la clasifica como sub-cuenca.

La red de drenaje es poco densa, dadas las características del suelo, el subsuelo y material parental; presenta una dirección predominante NW-SE, y en su recorrido de aproximadamente 20 kilómetros de longitud, 5,3 kilómetros son la zona de influencia en la cabecera municipal, lugar de estudio, tomando como inicio el cruce del río con la calle 1 vía Villega - Bogotá en las coordenadas 4° 49.339', -74° 22.324' pasando por la cabecera del municipio y terminando en las coordenadas 4° 48.233', -74° 20.370'

La primera fase de la investigación consistió en el levantamiento y recopilación de información primaria, a través de muestreos, en los puntos establecidos en la Tabla 1 y Figura 1 . En estos puntos se determinan las variables: velocidad superficial del agua, ancho de la superficie libre, profundidades, levantamiento de los perfiles, que fueron necesarias para el modelamiento hidrodinámico.

Tabla 1. Coordenadas de los puntos de muestreo.

Punto de muestreo	Coordenadas E	Coordenadas N
punto 1	967323	1025034
punto 2	967606	1024699
punto 3	968341	1024034
punto 4	968417	1023800
punto 5	968549	1023686
punto 6	968690	1023465
punto 7	968879	1023223
punto 8	969022	1023006
punto 9	969874	1022958

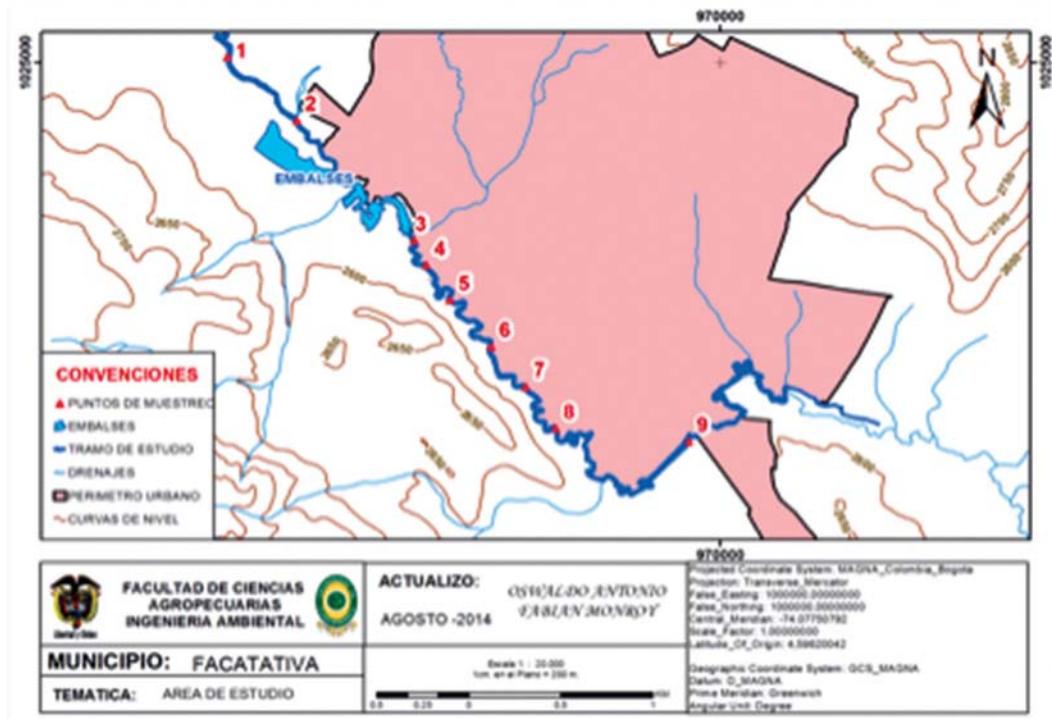


Figura 1. Ubicación de los puntos de muestreo.

Se realizaron tres muestreos sistemáticos y en cada uno se tomaron siete muestras de agua, como lo indican los puntos de muestreo (Figura 2). Las muestras se tomaron de acuerdo a la metodología establecida por las Normas Técnicas Colombiana (NTC) 813 y (NTC) 5667-6, incluidas en las normas oficiales para la calidad del agua. (Icontec, 1996)

La determinación de los parámetros de calidad se llevó a cabo mediante el muestreo in-situ y el posterior análisis de las mismas, en los laboratorios de la empresa Aguas de Facatativá, en las cuales se determinaron PH, temperatura, cloruros, color aparente, conductividad, DBO5, DQO, fosfatos, hierro total, nitratos, nitritos, manganeso, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, turbiedad, y coliformes totales

Además, se empleó el método de filtración por membranas para los análisis microbiológicos, las variables fisicoquímicas, y se realizaron análisis fotométricos, volumétricos y electrométricos respectivamente.

Posteriormente se realizó el procesamiento de la información obtenida, la calibración del software, y el modelamiento de los escenarios hidrodinámicos en el software HEC-Ras (Us army corps of engineers, 2010). Según la metodología planteada por Blade (2009) Los pasos básicos para desarrollar un modelo con HEC-RAS, se pueden resumir en 5 puntos: Iniciar un nuevo proyecto, ingresar los datos de geometría y de las secciones, introducir los caudales y condiciones de contorno, ejecutar los cálculos hidráulicos., visionar, calibrar y validar los resultados.

Por otro lado, el método empleado para determinar la calidad del agua fue definido con base en la metodología establecida en el *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (American Public Health Association, 2012). Finalmente, los resultados obtenidos se analizaron fundamentándose en parámetros establecidos por la guía *Water Quality Assessments* (Who, 1996)

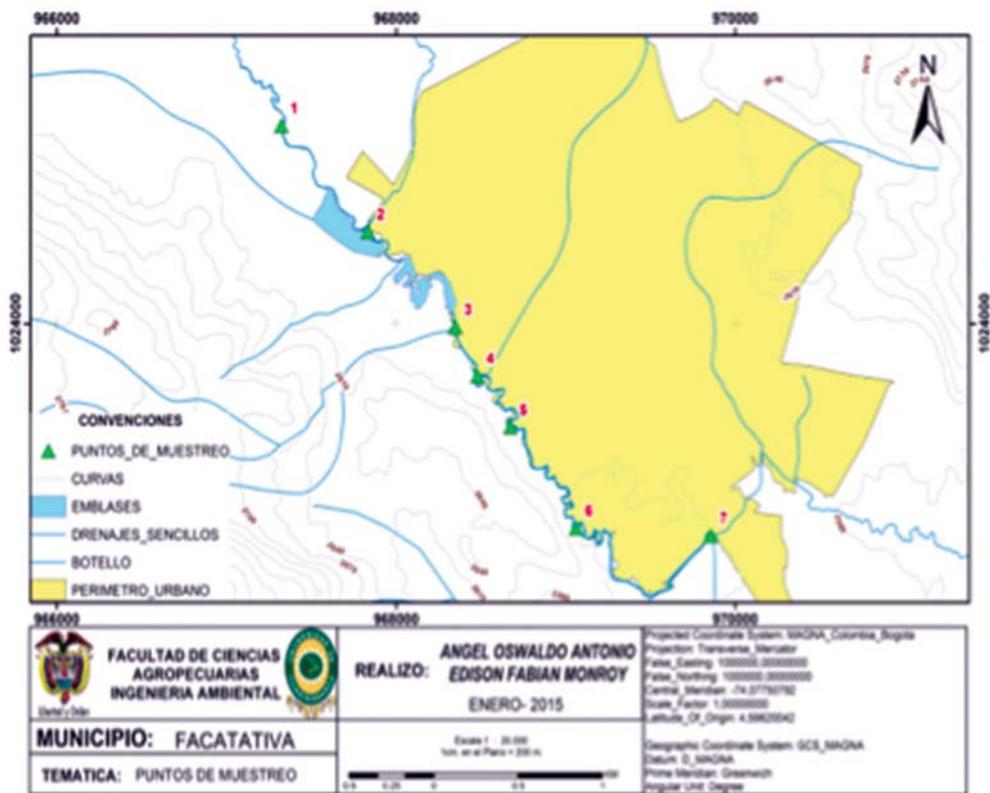


Figura 2. puntos de toma de muestras durante los tres muestreos.

Resultados y discusión

El primer resultado obtenido, fue el perfil o levantamiento topográfico de la *cross section data* (Figura 3) de las 100 secciones transversales que se levantaron a lo largo del tramo de estudio. En la Figura 4, se observa un perfil, ejemplo, en el cual se definen las variables adicionales.



Figura 3. Levantamiento topográfico de las *cross section* mediante altimetría.

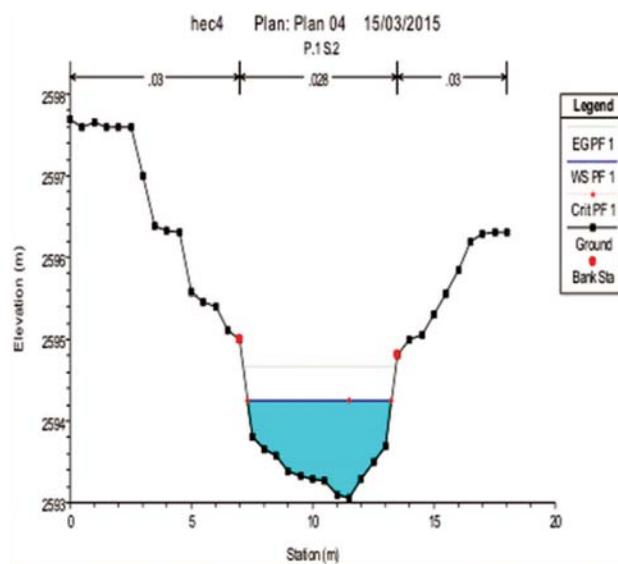


Figura 4. Sección transversal realizada en el modelo HEC-RAS.

De acuerdo con las secciones transversales y la *Geometric Data*, se dio inicio a la definición de condiciones de contorno (*boundary conditions*) para los puntos establecidos en el caso aguas arriba (*upstream*) y aguas abajo (*downstream*).

En la Figura 5, se observan las condiciones de contorno definidas en la presente investigación para el río Botello y así continuar con el respectivo modelamiento en el flujo inestable (*unsteady*), en el cual se puede definir más de una condición de contorno.

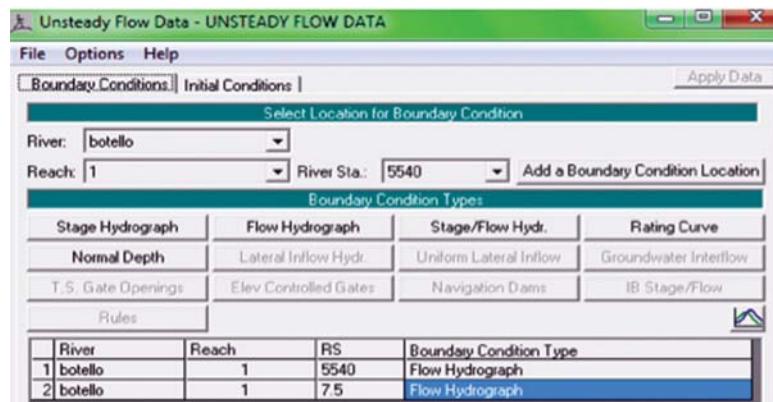


Figura 5. Condiciones de contorno para el río Botello

De este modo, para el Río Botello se definieron dos *boundary conditions tipo*. Así se estableció el hidrograma de flujo (*flow hydrograph*) para cada una de las secciones y de esta forma, garantizar posteriormente, una calibración del modelo con los datos obtenidos por el software HEC-RAS (Torres, 2010).

Luego de tener los datos, las condiciones de contorno, y haber culminado los tres pasos

metodológicos de la simulación, se llega al paso 4, el cual, consiste en ejecutar la simulación en flujo variable: *Run unsteady flow simulation*, (Figura 6), donde luego de corregir los errores que se presentaron, se dio inicio al modelamiento hidrodinámico del tramo estudiado, en el cual se obtuvieron los resultados finales de este proceso.

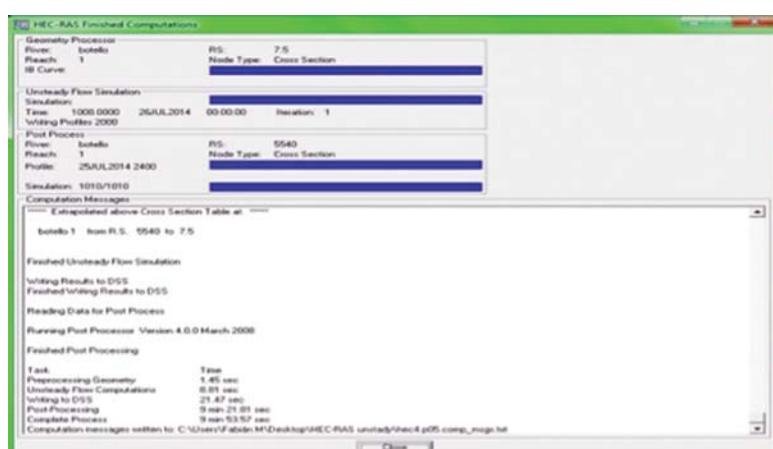


Figura 6. Estabilidad del modelo Hidrodinámico.

La calibración del modelo Hec-Ras se desarrolló mediante el método del error relativo y el error absoluto. Seguidamente se halló el error

absoluto de velocidades y se obtuvo un 10.22 %, se utilizaron los datos tomados por los autores como caudales, área del canal, superficie

de flujo libre, se ejecutó y se calibró con el área de cada sección y posteriormente, éste arrojó un error absoluto correspondiente al 8.96%; así mismo sucedió con la superficie del agua (*top width*), profundidades (*depths*), y velocidades (*velocity*). (Garcia & Chang, 2012).

Finalmente se concluye que con las tres variables

que fueron tomadas en campo al momento de calibrar, el modelo arrojó un error absoluto final del 8.06%, (Figura 7). De acuerdo a pronósticos nacionales, se considera que un pronóstico es acertado siempre y cuando el error no supere el 10%, según Rivera el modelo permite un error entre el 3 y el 33% según el mismo ARMY.

Profile Output Table - Standard Table 2											
HEC-RAS Plan: Plan 05 River: botello Reach: 1 Profile: PF 1											
Reach	River Sta	Profile	E.G. Elev	W.S. Elev	Vel Head	Frctn Loss	C & E Loss	Q Left	Q Channel	Q Right	Top Width
1	5540	PF 1	2593.55	2593.45	0.10	0.00	0.00	1.00			3.56
1	5534	PF 1	2593.25	2593.15	0.10	0.10	0.00	1.00			3.57
1	4659	PF 1	2592.20	2592.07	0.12	0.00	0.00	1.00			2.65
1	4654	PF 1	2592.00	2591.87	0.12	0.11	0.00	1.00			2.65
1	3561	PF 1	2591.78	2591.62	0.16	0.00	0.00	1.00	0.00		1.92
1	3556	PF 1	2591.48	2591.32	0.16	0.03	0.04	1.00	0.00		1.92
1	3396	PF 1	2591.11	2591.09	0.02	0.01	0.00	0.00	1.00	0.00	3.96
1	3391	PF 1	2591.10	2591.10	0.01	0.18	0.00	0.01	0.97	0.02	4.91
1	3215	PF 1	2590.92	2590.91	0.02	0.01	0.00	0.08	0.88	0.04	4.49
1	3210	PF 1	2590.91	2590.91	0.01	1.46	0.01	0.11	0.85	0.05	4.83
1	2542	PF 1	2589.45	2589.36	0.09	0.07	0.02	1.00			2.18
1	2537	PF 1	2589.36	2589.33	0.02	2.04	0.01	0.00	0.99	0.01	3.81
1	1962	PF 1	2587.31	2587.30	0.00	0.00	0.00	0.01	0.98	0.01	6.59
1	1957	PF 1	2587.30	2587.30	0.00	0.89	0.01	0.03	0.95	0.02	6.91
1	1722	PF 1	2586.40	2586.30	0.09	0.01	0.03	1.00			3.99
1	1717	PF 1	2586.33	2586.32	0.01	1.90	0.00	1.00			5.30
1	12.5	PF 1	2584.43	2584.42	0.01	0.21	0.01	0.00	0.98	0.02	7.10
1	7.5	PF 1	2584.21	2584.14	0.08			1.00			5.36

Figura 7. Calibración del modelo hidrodinámico.

Luego, se procede a observar los resultados obtenidos en la modelación hidrodinámica, lo cual permitió definir que los lugares con mayor susceptibilidad a inundaciones en temporada de lluvias son: el punto 2, 8 y 9 que corresponden a 3 de los 9 puntos monitoreados.

El río Botello, se caracteriza por presentar meandros a lo largo de su recorrido, característico de los cauces que se encuentran en zonas de baja pendiente, lo cual influyó, en la investigación a la hora de definir las zonas de inundación, debido a que las zonas meándricas generan disminución de la velocidad y represamientos de la corriente en temporadas bajas.

Modelo matemático planteado para el estudio mediante el algoritmo empleado por Hec-Ras 4.0.

Para el flujo inestable, HEC-RAS resuelve el plano, dinámico, 1-D- la ecuación de Saint

Venant utilizando un método de diferencia implícita, finito. La inestabilidad de resolución de ecuaciones de flujo es una adaptación del paquete UNET del Dr. Robert L. Barkau. (Renata, 2014).

La solución de las ecuaciones de Saint-Venant en 1D ha sido implementada en varias aplicaciones de software comunes usualmente a través de métodos numéricos y en particular por diferencias finitas, entre los más reconocidos se pueden mencionar los siguientes: Hec-Ras, Mike 11, EPASWMM, Storm And Sanitary Analysis.

Para obtener las ecuaciones de Saint-Venant se puede deducir directamente de las mismas, utilizando las leyes de la conservación de la masa y de la cantidad de movimiento, las cuales se pueden aplicar a los cauces de sección arbitraria, incluso no prismáticos.

Las ecuaciones de Saint-Venant para canales no prismáticos que resultan son mostradas en las Ecuaciones 1 y 2:

$$1. \quad \frac{\partial}{\partial t} U + \frac{\partial}{\partial x} F = H \quad (1)$$

$$2. \quad U = \left(\frac{A}{Q} \right); \quad F = \left(\frac{Q}{\frac{Q^2}{A} + g I_1} \right); \quad H = \left(\frac{0}{g I_2 + g A (S_0 - S_f)} \right) \quad (2)$$

La solución numérica está dada por la Ecuación 3: Continuidad en el canal principal

$$3. \quad \frac{\partial I_1}{\partial s} = I_2 + A \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3)$$

Hec-Ras no implementa directamente las ecuaciones de Saint-Venant en su forma tradicional, sino las adapta, primero a la geometría típica del cauce, que suele consistir en un canal principal por donde discurre el caudal aguas abajo, y en una llanura de inundación, formada por una avenida de agua.

Teniendo en cuenta que no toda el área mojada de la sección transversal de un río transporta agua, se descompone el área total de la sección Ar en una Zona con transporte efectivo A, y una zona de almacenamiento (S), o área de la sección donde no hay transporte y remplazando ($Ar = A + S$) en la ecuación se obtiene la Ecuación 4

$$4. \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_1 \quad (4)$$

Para abordar el problema del canal principal y la llanura de inundación, los programadores del HEC-RAS han considerado de manera separada el movimiento de agua en estas dos regiones. Según (Huaman, 2013) de esta forma se obtuvieron dos Ecuaciones 5 y 6:

$$5. \quad \frac{\partial Q_c}{\partial x_c} + \frac{\partial A}{\partial t} = q_f \quad (5)$$

Continuidad en la llanura de inundación

$$6. \quad \frac{\partial Q_f}{\partial x_f} + \frac{\partial A_f}{\partial t} + \frac{\partial s}{\partial t} = q_c + q_f \quad (6)$$

Estas ecuaciones son las que emplea el software HEC-RAS para realizar el modelamiento en el caso de estudio. Luego de estar calibrado el modelo y conocer las ecuaciones determinísticas, se procede a mostrar una serie de escenarios en las que se evidencian los niveles críticos de caudal (temporada seca) y cambios abruptos en los niveles de caudal (temporada lluviosa.) como se observa en la Figura 8.

La temporada seca que se evaluó, corresponde a los datos tomados por los autores del año 2014; mientras que para los otros escenarios se tomaron caudales históricos de eventualidades desde hace años, en estos se realizó la misma ruta metodológica. En el año 2006 se levantó el jarillón lo cual hace que estos riesgos disminuyan, y consecuentemente la investigación por la parte del Hec-Ras encontró que durante la temporada lluviosa este cauce superaba los *over bank station* en los puntos en que el río disminuía su ancho.

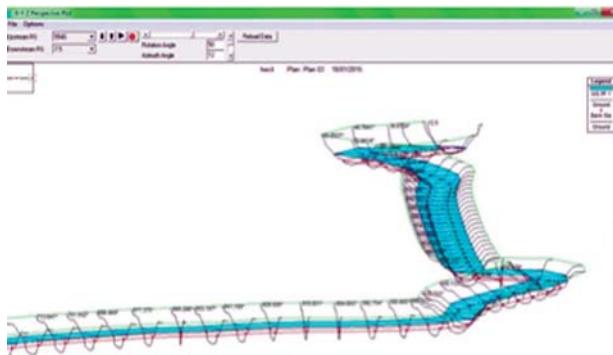


Figura 8. Excesos de caudales y superación de Over bank.

Temporada seca.

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la temporada seca, y como se observa en las Figuras 9, 10 y 11, se nota que el caudal del que disponía el cauce, era un caudal de riesgo bajo para las inundaciones, donde de acuerdo con esto y la baja velocidad de flujo, se alteran algunas variables de la calidad del agua.



Figura 9. Modelamiento temporada seca tramo punto 3-5.

Además en la Figura 10, se observa el perfil del cauce donde se puede apreciar mejor el comportamiento del espejo de agua y la variación de altura la cual es muy baja para el recorrido del mismo con pendiente menor del 3%.

En las figuras anteriores, se analiza igualmente, que el caudal de estudio inicial es un caudal de baja intensidad, debido a que no supera el 50% de

la altura para alcanzar la cota de inundación (*over bank*). En la Figura 11, se observa mejor el flujo hídrico donde se evidencia que a lo largo de unos pocos perfiles, el flujo se encuentra en su cauce natural (*channel*).

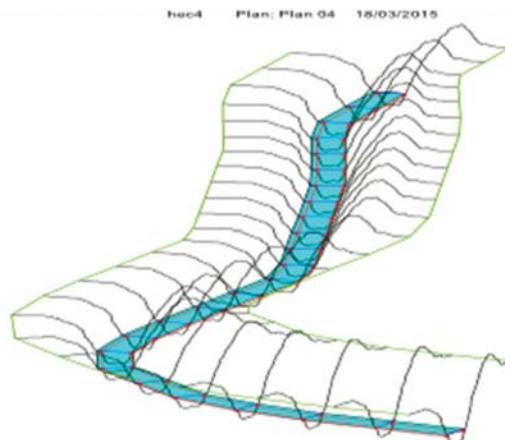


Figura 10. Perfiles del cauce y su flujo hídrico.

Temporada transitoria (seca-lluviosa).

En el período transitorio, se alcanzó un caudal de $1.6 \text{ m}^3/\text{seg}$, donde validando estos caudales monitoreados en el software y calibrarlo con su respectivo procedimiento, se observan claramente las zonas vulnerables a inundaciones (Figuras 12 y 13). En ésta sección se pudo observar tanto en la simulación como en tiempo real que esta zona, efectivamente se encontraba inundada en esta escala de tiempo y espacio como se tiene evidencia en la Figura 13. Situación que permite corroborar la fiabilidad del modelo.

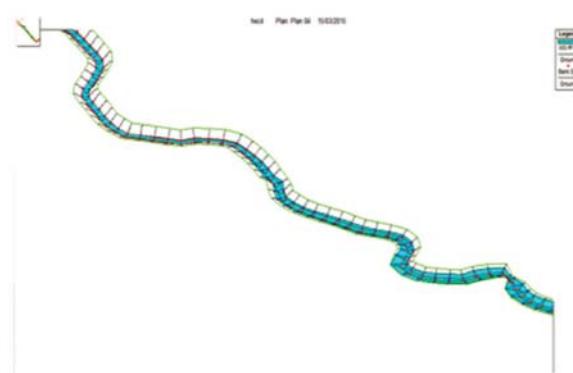


Figura 11. Tramo del río Botello comprendido entre los puntos 8 y 9.

En la Figura 12 se observa, que la inundación que se presenta tiene el siguiente comportamiento: hacia el lado izquierdo, alcanza un límite cercano a la proximidad del desbordamiento sobre la zona urbana y hacia el lado derecho correspondiente con la zona rural, se desborda, debido a que la cota es más baja, afectando cultivos y actividades agropecuarias que se desarrollan en el área al momento de la inundación. Alterando así, los procesos agrícolas que se encuentran en la rive-
ra, además de ser el recurso hídrico quien sufre los impactos en la alteración de la composición química y física del agua en términos de calidad.

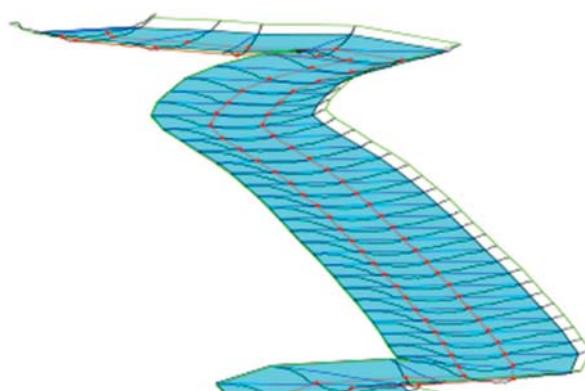


Figura 12. Lugar de la inundación presentada en la temporada transitoria en la sección 9.

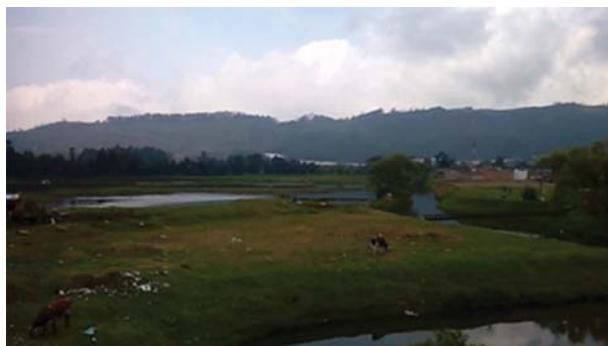


Figura 13. Inundación en el punto 9 para el mes de Octubre 2013.

Otro de los ejemplos, que permite corroborar la fiabilidad del modelo, se evidencia en esta tem-
porada en el *punto 1* lugar de inicio de monitoreo.

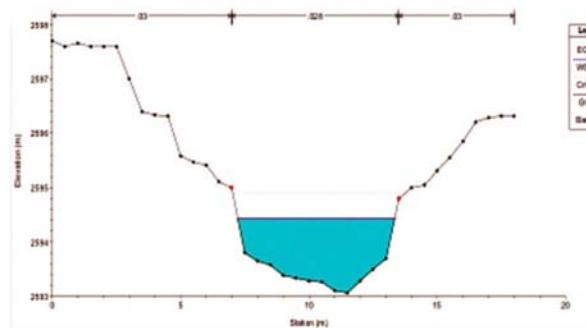


Figura 14. Perfil 1 inicio del muestreo temporada transitoria.

En la Figura 14, se evidencia que el caudal me-
dido para este día no supera la cota de inunda-
ción (*over banks*) y las profundidades obtenidas
en campo son muy aproximadas a las obtenidas
en el modelo con un error menor al 3%. En la Fi-
gura 15, se observa otra de las evidencias, que
muestran que estos resultados sin lugar a duda
son similares a la realidad que se vive alrededor
del río Botello.



Figura 15. Muestreo punto 1.

Finalmente, se analizaron a modo de resumen
los resultados más importantes para las dos
temporadas con el fin de corroborar la veracidad
del modelo.

Dentro de los resultados obtenidos en la investigación, se destaca el gran aporte de información de este tipo para el municipio de Facatativá, debido a que no existía ninguna información de batimetría y modelación matemática del río Botello en la zona urbana del municipio, ni estudios de calidad del agua en el tramo de estudio, únicamente en la empresa Aguas de Facatativá.

Resultados de la calidad del agua

A continuación, se muestran los emitidos por la Empresa Aguas de Facatativá para las 20 pruebas realizadas en las (3) etapas de monitoreo. En estas, se evalúan las variables de pH, temperatura, turbiedad, color aparente, conductividad, DQO, DBO5, fosfatos, hierro, nitratos, nitritos, manganeso, oxígeno disuelto, sólidos disueltos totales, además, de evaluar dos parámetros microbiológicos importantes: *E-coli* y *Coliformes totales*.

Se analizan los parámetros establecidos en el presente estudio. En las siguientes ilustraciones se asocian los colores azul, verde y naranja, para facilitar el análisis de resultados, los cuales indican:

Azul: Primera etapa de muestreo.

Verde: Segunda etapa de muestreo.

Naranja: Tercera etapa de muestreo

Potencial de Hidrógeno: pH

Es una de las más frecuentes e importantes pruebas usadas en monitoreos de aguas. Se utiliza para conocer medidas de alcalinidad, dióxido de carbono, y muchos otros equilibrios ácido-base (Who, 1996), haciendo referencia a la concentración y actividad del ion hidrógeno. El pH de la mayoría de las aguas naturales está estandarizado entre 6.0 y 8.5. Pueden ocurrir valores más bajos en aguas diluidas, altas en contenido de materia

orgánica, y valores más altos en aguas eutróficas (American Public Health Association, 2012).

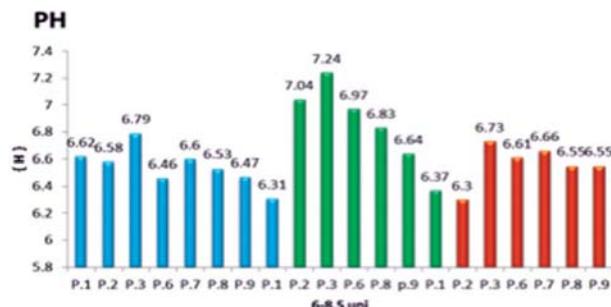


Figura 16. PH del río Botello en la zona urbana de Facatativá.

Como se evidencia en la Figura 16, el pH medido a lo largo de los 9 puntos de muestreo, en definitiva, se encuentra dentro los estándares permitidos por la Organización Mundial de la Salud (Who, 1996), con respecto a calidad de agua superficial en las tres etapas. Es de resaltar, que los valores más altos se observaron en la segunda etapa, que se realizó en una temporada seca, debido a que es afectada por los bajos caudales y escaso movimiento de las aguas, siendo el pH influenciado por el rápido crecimiento y respiración de plantas, como lo es el caso propio de la elodea (*Elodea nuttallii*).

Turbiedad.

La WHO, define que la turbidez del agua superficial no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU [4]. De acuerdo con la Figura 17, y los datos obtenidos en el primer muestreo realizado en el río Botello, la turbiedad en todos los puntos se encuentra en los estándares permitidos. Mientras que, en el segundo muestreo se encuentra que en el punto 1, 3, 6, 8 y 9 la turbiedad alcanza valores máximos de 78.1 NTU, producto de la temporada seca evaluada.

TURBIEDAD

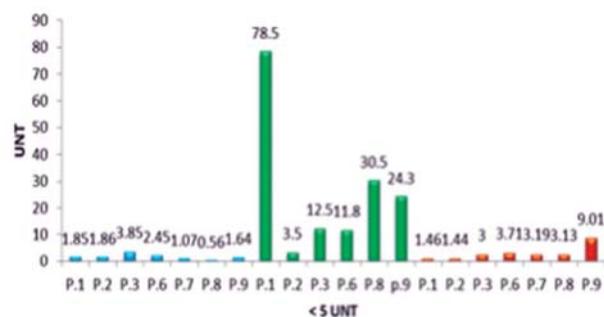


Figura 17. Turbiedad del río Botello en la zona urbana de Facatativá

Finalmente, se encontró que solo en el punto 9 de muestreo, existen valores que sobrepasan los estándares establecidos por la WHO, siendo la causa de estos los vertimientos que se sitúan cerca a este tramo del río. Por tal motivo, en términos finales, el agua superficial del río Botello es más confiable en temporada lluviosa y transitoria (seca – lluviosa) que en temporada seca.

Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La demanda química de oxígeno (DQO), es una medida del equivalente de oxígeno de la materia orgánica en una muestra de agua que es susceptible a la oxidación por una potente sustancia química oxidante, tal como el bicromato potásico (García & Chang, 2012)

DQO

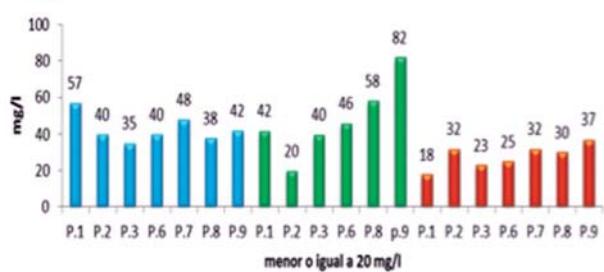


Figura 18. DQO del río Botello Zona urbana de Facatativá

Con referencia a los valores obtenidos en las muestras representados en la Figura 18, es agua

que durante la primera fase y la segunda sobre-pasan los valores permitidos de 20 mg/l. Mientras que en la tercera fase el punto 1 se encuentra dentro de los valores permitidos. Siguiendo este monitoreo se encuentra un crecimiento de esta variable alcanzando valores de 37 mg/l siendo estos valores más bajos que los de las fases anteriores. Concluyendo esta variable se permitió establecer que no se encuentra dentro de los picos establecidos por la WHO.

Fosfatos.

La fuente principal de los fosfatos orgánicos son los procesos biológicos. Estos pueden generarse a partir de los ortofosfatos en procesos de tratamiento biológico o por los organismos acuáticos del cuerpo hídrico. Concentraciones relativamente bajas de complejos fosforados afectan el proceso de coagulación durante el tratamiento del agua (Who, 1996).

FOSFATOS

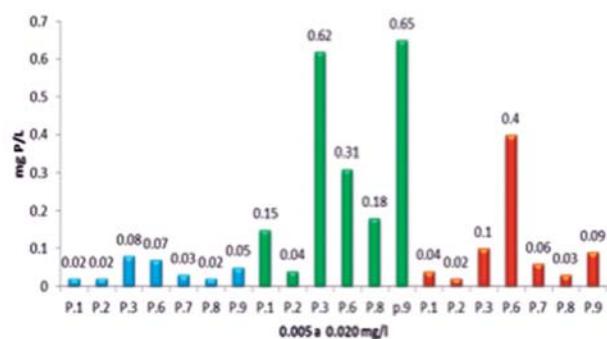


Figura 19. Fosfatos en el río Botello zona urbana de Facatativá.

Por otro lado los fosfatos que se encuentran presentes en el río Botello varían de 0.02 a 0.65 mg/l, donde se evidencia que durante la primera fase los fosfatos presentan niveles que están en los valores máximos permitidos por la WHO, mientras que en la segunda fase se encuentran valores más altos debido a que la velocidad de corriente es mínima y se dan procesos en aguas estancadas aumentando el crecimiento de las plantas acuáticas; finalmente en la tercera fase los valores obtenidos fueron muy variables presentando

el valor más alto, según la Figura 19 para el punto 6 la gran cantidad de plantas acuáticas aumentan los fosfatos. Por tal motivo el agua no cumple los valores en ningún punto muestreado y se evidencia un exceso de fosforo en los límites permitidos lo cual indica la presencia de contaminación y son en gran parte responsable de condiciones eutróficas y gran crecimiento de plantas acuáticas a lo largo del sistema de estudio.

Oxígeno Disuelto.

La cantidad de oxígeno que está en el agua se denomina oxígeno OD disuelto. La solubilidad es directamente proporcional a la presión parcial. Como lo establece la WHO el Oxígeno disuelto (OD) en las aguas frescas en el nivel del mar oscila entre 15 mg/l a 0 ° C y 8 mg/l a 25 ° C. Las concentraciones en aguas no contaminadas son por lo general menor a 10 mg/l. En el agua potable por lo general puede ser detectado por los consumidores como resultado de un mal olor y sabor (Who, 1996).

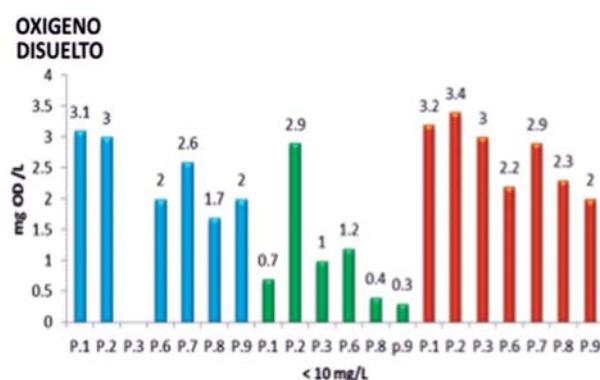


Figura 20. OD en el río Botello zona urbana de Facatativá

En relación con lo establecido el agua del Río Botello debe presentar OD mayor o igual a 10 mg/L para fuentes superficiales. Analizando los valores presentados en la Figura 20 se establece que hay un déficit de oxígeno disuelto lo que causa cambios físicos en el color y sabor, además estos valores bajos se deben a que no hay saltos hidráulicos los cuales ayudarían a aumentar estos valores.

Nitratos.

El ion nitrato (NO_3^-) Es la forma común de nitrógeno combinado se encuentra en aguas naturales. Puede ser bioquímicamente reducido a nitrito (NO_2^-) por los procesos de desnitrificación, por lo general en condiciones anaeróbicas. El ion nitrato se oxida rápidamente a nitrito. Las fuentes naturales de nitrato en las aguas superficiales incluyen rocas ígneas, drenaje de tierras de plantas, animales y escombros.

Las concentraciones superiores a 5 mg/l NO_3^- generalmente indican la contaminación por desechos humanos o animales o escorrimento de fertilizantes. En los casos de contaminación extrema, las concentraciones pueden llegar a 200 mg/l.

NITRATOS

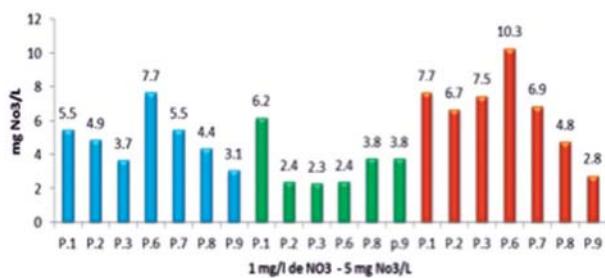


Figura 21. Nitratos en el río Botello en la zona urbana de Facatativá

La Organización Mundial de la Salud (WHO) recomienda límite máximo de NO_3^- , hasta 5 mg/l de NO_3^- , pero a menudo menos de 1 mg/l de NO_3^- . Las concentraciones superiores a 5 mg/l por lo general indican la contaminación por desechos humanos o animales, o escorrentía de fertilizantes. En los casos de contaminación extrema, las concentraciones pueden llegar a 200 mg/l NO_3^- (Department of health and human services, 2009).

De acuerdo a estas recomendaciones y los resultados mostrados anteriormente en la Figura 21 se encuentra que durante la primera y segunda fase, en el punto 1 supera el valor permitido, esto debido que en la parte rural es mayor el uso de los

abonos inorgánicos para la agricultura y fertilización de forrajes en el caso de la ganadería. En último lugar en la fase tres los valores de nitratos se comportan de una manera muy diferente, esto debido a lo siguiente en el punto 1 el uso de fertilizantes es más bajo hasta el punto 5. Apartir de este y hasta el 9, se encuentra un valor muy alto lo cual corrobora que efectivamente hay cultivos aledaños al punto.

Escherichia coli (E. Coli)

La *Escherichia coli* pertenece a un grupo de bacterias presentes en el intestino del ser humano y animales, siendo la gran mayoría inocuas en ellos. Los rumiantes, y en particular el ganado bovino y ovino, son el principal reservorio de estas bacterias. Los animales portadores no muestran ningún signo clínico y eliminan las bacterias *E.coli* por las heces (Ojeda, 2012)

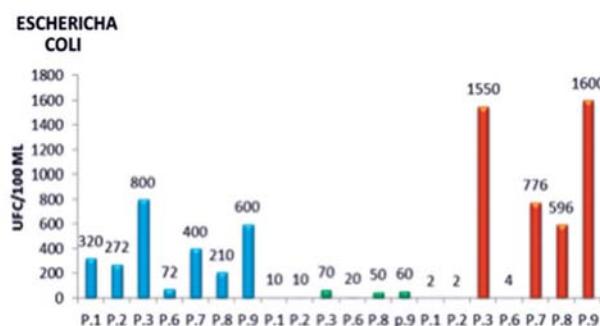


Figura 22. *E. Coli*. En el río Botello Zona urbana de Facatativá.

Con las características mencionadas sobre la *E.coli*. y los resultados obtenidos en los tres monitores que se evidencian en la Figura 22 se analiza que durante la primera etapa estos valores son un poco elevados debido a que los vertimientos se mezclan con la corriente hídrica, disolviendo estas concentraciones y así mismo descendiendo estos valores. Para la segunda fase estos niveles son bajos ya que disminuye la escorrentía y los vertimientos no alcanzan a llegar al punto de muestreo debido al bajo flujo hidráulico. En la fase final los valores son muy elevados debido a las condiciones meteorológicas del día anterior al muestreo se presentaron precipitaciones en la zona,

lo cual hace que la escorrentía de las zonas de mayor pendiente vaya a la de menor pendiente (cauce principal), llevando consigo materia portadora de *E. coli*, disuelta en ella.

Conclusiones

Entorno a las variables hidrodinámicas del Río Botello monitoreadas se encontró que la variación y aumento de los caudales afecta principalmente al punto 9 donde cada vez que se presentan precipitaciones intensas en un corto tiempo se inunda la misma zona.

La modelación del río Botello se constituyó como una herramienta indispensable para la gestión integral del recurso hídrico en el municipio y debido a esto, se pueden derivar nuevos proyectos que tiendan a mitigar los impactos ambientales y económicos que se presentan en la zona.

Las zonas más susceptibles a inundación se evidenciaron en el punto 9 y en un periodo de retorno estudiando los datos meteorológicos históricos, se encuentra que la inundación que se presentó en el año 2006 fue desde el punto 3 hasta el punto 9, medida que obligó a la administración municipal a crear el jarillón cuya construcción disminuyó en gran parte las inundaciones

La influencia antrópica en torno al río Botello atrae grandes problemas de calidad a la oferta del recurso hídrico para los habitantes del municipio que suplen sus necesidades básicas.

La disminución de caudales afecta principalmente a la empresa Aguas de Facatativá la cual provee agua para el municipio en una cobertura del 100% en el sector urbano, lo cual causa una sobre explotación del recurso hídrico en la zona urbana de Facatativá.

El modelo unidimensional Hec-Ras posee todas las capacidades necesarias para realizar una simulación en las condiciones previstas en el estudio.

Luego de dar a conocer estar investigación a la CAR, ellos realizaron una adecuación hidráulica del Río, reforzando jarillones y removiendo sedimentos, los cuales debido a los altos contenidos de hierro, magnesio y otras sales disminuye la eutrofización en el río.

La modelación del río Botello se constituyó como una herramienta indispensable para la gestión integral del recurso hídrico en el municipio.

Se encontró que las zonas más susceptibles a inundación son en el punto 7 y 8, siendo la de mayor magnitud en el punto 9, donde siempre ocurren debido a que la pendiente del cauce es muy baja y el jarillón se encontraba alterado.

Agradecimientos

Los autores expresan un agradecimiento a Dios, a la Universidad de Cundinamarca, al grupo de investigación Axioma, a la empresa aguas de Facatativá, a nuestro director Diego Bedoya, a las profesoras Jaddy Castañeda y Angélica Bravo, a nuestras familias y compañeros de carrera.

Literatura citada

1. American Public Health Association, A. W. (2012). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 22th ed. Cap. 1060 collection and preservation of sam.
2. Blade, E. (2009). Modelación Numérica en ríos s en régimen permanente y variable. Una visión A partir del Modelo HEC-RAS. 1ra edición.
3. Departament of Health and Human Services. (2009). Las bacterias. Recuperado de http://epi.puclichealth.nc.gov/oee/docs/Las_Bacterias_Coliformes_WellWaterFactSt.pdf
4. Facatativá., A. M. (2001). Plan de Ordenamiento Territorial. Facatativa.
5. Garcia, F. & Chang, G. y. (2012). Calibration and validation 3D in the Santa Marta coastal area (Colombia). Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_artte
6. Huaman, B. A. (2013). Tesis presentado por el Bachiller en Ingeniería Mecánica de Fluidos, Universidad nacional mayor de san marco, Modelamiento numérico de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra y su estimación de riesgo- aplicación a la presa Yuracmay, Lima.
7. Icontec. (1996). Norma Técnica Colombiana 813, 5667-6. Normas oficiales para la calidad del agua y su respectivo muestreo en Colombia. Bogota.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
8. Mautaco, G. (2014). Analisis morfometrico de la cuenca y la red de drenaje del río Zadorra y sus afluentes, aplicado a la peligrosidad de inundaciones. (p. y. Departamento de Geografia, Ed.) Universidad del País Vasco.
9. Ministerio de vivienda. (2010). En Cundinamarca Minvivienda ejecuta obras por \$25.573 millones en el sector de agua y saneamiento básico. Recuperado de: [http://www.minvivienda.gov.co/Paginas/Sala_de_Prensa/Noticias/2014/En-Cundinamarca-Minvivienda-ejecuta-obras-por-\\$25-573-millones-en-el-sector-de-agua-y-saneamiento-b%C3%A1sico.aspx](http://www.minvivienda.gov.co/Paginas/Sala_de_Prensa/Noticias/2014/En-Cundinamarca-Minvivienda-ejecuta-obras-por-$25-573-millones-en-el-sector-de-agua-y-saneamiento-b%C3%A1sico.aspx)
10. Ojeda, C. (2012). Caracterización fisicoquímica y parámetros de calidad del agua de la planta de tratamientos de agua de Barrancabermeja. 52-58. Bucaramanga, (Teiss de pregrado) Ingeniero Químico: Universidad Industrial de Santander.
11. Renata, J. (2014). Stochastic flood forecasting system. Geoplanet.
12. Secretaría de Desarrollo Agropecuario. (2012). Perfil ambiental de Facatativá. Informe General, Facatativa.
13. Torres, Q. E. (2010). Aplicación del modelo de simulación hidráulica del HEC-RAS para la emisión de pronósticos hidrológicos de inundaciones en tiempo real, en la cuenca media del río Bogotá - sector alí-cachin. Recuperado de Revista ingenio libre: <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista10/articulos/aplicaci%C3%B3n-del-modelo-de-simulacion-hidr%C3%A1ulica-hec-ras.pdf>
14. Universidad del Valle. (2010). Guía básica para la caracterización Morfométrica de cuencas Hidrográficas.
15. Us army corps of engineers. (2010). Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC-RAS).
16. Who, U. U. (1996). Water Quality Assessments. A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Second Edition; Editorial E&FN Spon, Behalf

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 19 de agosto de 2014

Aceptado: 7 de octubre de 2014

Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima* var. Unapal- Mandarino)

Evaluation of the efficiency of three soil fertilizers on the yield and quality of zapallo (*Cucurbita maxima* var. Unapal - Mandarino)

Avaliação da eficiência de três fertilizantes do solo sobre a produtividade e qualidade de abóbora (*Cucurbita maxima* var. Unapal- Mandarino)

Juan Carlos Menjivar-Flores¹, Cristian Felipe Enciso Murillo² & Harol E. Martínez Cordoba³

¹Ingeniero Agrónomo, Magíster en suelos y aguas, Doctor en Ciencias del suelo. ²Estudiante de Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. ³Ingeniero Agrónomo, Magíster en Ciencias énfasis en Entomología.

^{1,2}Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Colombia.

³Investigación & Desarrollo. Departamento Técnico. COSMOAGRO S.A. Palmira. Colombia

jcmenjivarf@unal.edu.co¹, cfencisom@unal.edu.co², hemartinezc@gmail.com³

Resumen

La investigación evaluó la eficiencia agronómica del cultivo de zapallo (*Cucurbita máxima*) var Una-pal Mandarino por efecto de la aplicación de tres fertilizantes edáficos en el desarrollo, producción y rendimiento del cultivo en condiciones del Valle del Cauca, Colombia. Se estableció un diseño completamente al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones para un total de 12 unidades experimentales. Los tratamientos evaluados fueron T1: dosis comercial, T2: dosis comercial + 25%. T3: dosis comercial +50%. La variables de respuesta evaluadas incluyen: peso total de frutos y número de frutos por unidad experimental, peso del fruto, diámetro polar, diámetro ecuatorial, índice de esfericidad, espesor de la pulpa, color de pared, número total de semillas, peso total de semillas, peso de 100 semillas, peso unitario de semilla y % materia seca. Los resultados mostraron que la eficiencia agronómica en los tratamientos dosis

comercial y dosis comercial +25% no presentaron diferencias significativas, sin embargo en el tratamiento con dosis comercial +50% se encontraron diferencias significativas especialmente en variables de peso total de frutos, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto, número total de semillas por fruto y en el peso total de semillas por fruto, por tanto al aumentar la dosis comercial del fertilizante, se aumentan las características agro-nómicas del fruto.

Palabras clave: eficiencia agronómica, fertilizante edáfico, producción, rendimiento.

Abstract

The research assessed the agronomic efficiency of cultivation of zapallo (*Cucurbita máxima*) var Unapal Mandarin by effect of the application of three soil fertilizer in the development, production and crop

yield in the Valle del Cauca, Colombia. A completely randomized design with three treatments and four replications for a total of 12 experimental units was established. The evaluated treatments were T1: commercial dose, T2: commercial dose 25%. T3: commercial dose 50%. The response variables evaluated included: total weight of fruits and number of fruits per experimental unit, weight of the fruit, polar diameter, equatorial diameter, index of sphericity, pulp thickness, color of wall, total number of seeds, total seed weight, weight of 100 seeds, unit weight of seed and percent of dry matter. The results showed that the agronomic efficiency in commercial dosage treatments and plus 25% commercial dose had no significant differences, however in the treatment with dose commercial 50% happen significant differences especially in variables of total weight of fruits, equatorial diameter of the fruit, the polar diameter of the fruit, total number of seeds per fruit and the total weight of seeds per fruit, therefore increasing the commercial fertilizer dose the agronomic characteristics of the fruit are increased.

Keys word: agronomic efficiency, soil fertilizer, production, yield

Resumo

A pesquisa avaliou a eficiência agronômica da cultura de abóbora variedade “Unapal

Mandarino” por efeito da aplicação de três fertilizantes edáficos no desenvolvimento, produção e produtividade da cultura em condições do Valle del Cauca, Colômbia. Foi estabelecido um delineamento experimental inteiramente casualizado com três tratamentos e quatro repetições para um total de 12 unidades experimentais. Os tratamentos avaliados foram T1: dose comercial, T2: dose comercial + 25%, T3: dose comercial + 50%. Os caracteres avaliados foram: peso total de frutos e número de frutos por parcela experimental, peso do fruto, diâmetro polar, diâmetro equatorial, índice de esfericidade, espessura da polpa, cor da parede, número total de sementes, peso total de sementes, peso de 100 sementes, peso unitário de semente e % de matéria seca. Os resultados mostraram que a eficiência agronômica nos tratamentos dose comercial e dose comercial + 25% não apresentaram diferenças significativas especialmente nos caracteres peso total de frutos, diâmetro equatorial de fruto, diâmetro polar de fruto, número total de semente por fruto e peso total de sementes por fruto. Por tanto, ao passo que aumenta a dose comercial do fertilizante, aumentam as características agronômicas do fruto.

Palavras-chave: eficiência agronômica, fertilizante edáfico, produção, rendimento

Introducción

El género Cucurbita es importante por formar parte de la alimentación básica en muchas regiones de América, Asia y Europa (Vallejo & Estrada, 2004). En 2015 se sembraron en el mundo 1.797.195 ha¹ de esta hortaliza, con una producción total de 24.679.859 t y un rendimiento de 137.324 kg ha⁻¹ (FAO, 2014). El zapallo en Colombia está comenzando a jugar un papel importante en la economía campesina, especialmente por el tamaño, forma y color de fruto, grosor y textura de pulpa, color y tamaño de la semilla, según Vallejo & Estrada (2004), se establece en huertos caseros, en climas cálido

y templado, entre 0 y 2000 msnm. En el Valle del Cauca, Colombia, en el 2014 se reportaron 228,8 ha, con una producción de 3.913 t y un rendimiento promedio de 17,10 t/ha⁻¹ (Agronet, 2014), esto refleja la importancia de esta hortaliza en la agroindustria tanto a nivel nacional como mundial.

Los departamentos de mayor producción en Colombia son Cesar (15974 t), Caldas (9850 t), Boyacá (8428 t), seguido de Magdalena, Santander y La Guajira (Agronet, 2014). Donde es utilizado tanto para fines alimenticios como medicinales y agroindustriales.

El Zapallo a nivel nutricional provee carbohidratos, B-caroteno (provitamina A), ácido ascórbico (vitamina C), minerales (calcio, hierro, fósforo) y aminoácidos como tiamina y niacina (Caicedo, 1993; Vallejo & Mosquera, 1998; Carmo, 2009); se consume en forma directa (sopas, cremas, dulces, purés, jugos, pastelería y compotas) y de forma indirecta como materia prima para la agroindustria (harinas y deshidratados) (Espitia, 2004). Según Maynard *et al.*, (2004) el fruto de zapallo contiene entre 4.4 y 14.5% de proteína cruda, una digestibilidad de la materia seca (MS) superior a 80%.

El cultivar Unapal Mandarino, es una variedad con tolerancia a plagas y enfermedades comunes en las regiones similares a las del Valle del Cauca, Colombia, mostrando buena adaptación. Este cultivar se diferencia de otros porque tiene tallos gruesos, redondos, hojas anchas de bordes enteros y lisos, color verde claro, es una planta monoica con inicio de floración entre los 40-45 días para flores machos y los 45-55 días para flores hembras, los frutos son gruesos, redondo o aplanoado de superficie lisa o ligeramente costilladas (Vallejo & Estrada, 2004)

Los nutrientes en las plantas se convierten en los más importantes insumos para el incremento de los rendimientos, es así como el un buen manejo de la nutrición con el fin de incrementar las cantidades de nutrientes en los sistemas de producción, se ha convertido el principal desafío para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural (FAO, 1999).

En cualquier cultivo es fundamental la fertilización, esta puede ser orgánica o química, en ambos casos lo importante es obtener buena productividad. Es así como en Colombia, es escasa la información sobre los requerimientos nutricionales de zapallo, ya que se considera un cultivo de poca importancia. Sin embargo éste responde positivamente al suministro de nutrientes adicionales al suelo, incrementando el peso de los frutos, y con ello mejorando los rendimientos y la productividad, Según Ribeiro (2008) la fertilización representa entre el 20% a 30% del costo total de producción.

El cultivo de zapallo, a diferencia de otras hortalizas, requiere una moderada cantidad de nitrógeno, pero si altas cantidades de potasio y fósforo (Sackett, 1975), el mismo autor plantea que la relación optima en entre nitrógeno, fosforo y potasio debe mantenerse en una proporción 2:1:3, en ese sentido cuando existe excesos de nitrógeno, el crecimiento vegetativo se vuelve exuberante pero ante un desbalance por carencia de fosforo, potasio o calcio, los frutos pueden deformarse o no alcanzar el tamaño adecuado. En zapallos híbridos se utilizan dosis de fertilización orgánica-mineral, poco evaluadas, pero se recomienda una aplicación de fertilización nitrogenada entre 80 y 100 kg ha⁻¹ (Carmo, 2009)

Para los zapallos híbridos, estudios realizados por Santos *et al.*, (2012) muestran que los nutrientes N, K, S y Cu se acumulan especialmente en los frutos, en cuanto el P, Ca, Mg, Zn, Fe y Mn en la parte vegetativa, por lo tanto se debe dar atención a las concentraciones de N, P y K por ser los nutrientes más exportados. En el contexto del Valle del Cauca el aporte de nutrientes por fertilizantes de síntesis en el cultivo de zapallo no está respaldado por estudios basados en los requerimientos nutricionales del cultivo, es así como los productores tradicionales fertilizan de acuerdo a las recomendaciones que brindan las casas comerciales.

Debido a la gran posibilidad de expansión del cultivo para fines productivos, es necesario validar dosis adecuadas de nutrientes y así lograr aumentar las cosechas. Por ende el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia en el aporte de nutrientes de tres fertilizantes edáficos a tres diferentes dosis en rendimiento y calidad del zapallo var. Unapal- Mandarino.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en el Centro Experimental de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira- CEUNP, localizado en el municipio de Candelaria, Valle del Cauca, Colombia, a 3° 24'

norte y $76^{\circ} 26'$ oeste, a una altitud de 980 msnm, con temperatura media anual de 24°C , precipitación media anual de 1.009 mm y humedad relativa del 69%.

Para la preparación, adecuación y siembra del cultivo se realizó una labranza de tipo mecánica, comenzando con un arado de vertederas y posteriormente una labranza secundaria con rotovator para dejar las partículas del terreno más finas.

Se realizaron semilleros de la variedad Unapal Mandarino de zapallo, del programa de hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira, posteriormente a los quince (15) días se pasaron a campo. La siembra se realizó con el método de tres bolillo utilizando una distancia entre plantas de 2 m y distancia entre surcos de 3 m, se establecieron cuatro surcos con una longitud de 80 m de largo y 3 m de ancho cada uno y se dejó 1 m en cada extremo como borde de protección, para un total de área de experimentación de 1120 m^2 .

El control de arvenses se llevó cabo de manera mecánica, química y manual. Cuando se presentó un desarrollo exuberante de los tallos secundarios se realizó el proceso de disposición de guías alrededor del tallo principal, con el fin de favorecer un crecimiento ordenado y mantener un área de cobertura definida.

Para el proceso de fertilización se tomaron los análisis de suelos de CEUNP los cuales fueron realizados por el Laboratorio de Química de suelos de la Universidad Nacional Sede Palmira, los requerimientos nutricionales del cultivo se tomaron de acuerdo a los planteados por Caicedo (1993) quien menciona que las cantidades de N, P, K para un cultivo de zapallo, dependen de la fertilidad y del tipo de suelo.

El aporte de los nutrientes se realizó de acuerdo a las etapas fenológicas de la planta (vegetativa, reproductiva y maduración). En cada etapa fenológica se realizaron aplicaciones manuales de fertilización, las cuales consistían en realizar un

agujero con un radio de 5 cm alrededor del tallo principal de cada planta, humedecerlo y agregar el fertilizante edáfico + compuesto (Triple 18), las cantidades aplicadas durante el proceso de fertilización del cultivo se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Tratamientos y dosis de fertilizantes utilizados en la investigación.

Fertilizante Edáfico	Tratamiento	Componentes (kg/60m ²)
		N-P-K
FE-1	DC	3,52
	DC+25%	4,43
	DC+50%	5,31
FE-2	DC	6,07
	DC+25%	7,58
	DC+50%	9,1
FE-3	DC	6,07
	DC+25%	7,58
	DC+50%	9,1

DC: Dosis comercial

Se utilizó un diseño de bloques completamente al Azar con un arreglo factorial de 2×3 , donde el primer factor correspondió al efecto de las dosis y el segundo correspondió al efecto de los fertilizantes. Los tratamientos evaluados fueron T1: Dosis Comercial, T2: Dosis Comercial +25%. T3: Dosis Comercial +50%, para cada uno de los fertilizantes edáficos evaluados de acuerdo a los componentes químicos N-P-K (FE1®, FE2®, FE3®), cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones de seis plantas.

Variables evaluadas en campo.

Se realizó la cosecha de los frutos de cada una de las unidades experimentales en sacos de fique, y se llevaron a una báscula industrial para obtener Peso total y número de frutos por unidad experimental (ptfru) en kg.

VARIABLES EVALUADAS EN LABORATORIO.

Para las mediciones en laboratorio se escogieron por cada unidad experimental frutos con características homogéneas, se secaron durante 24 horas a una temperatura ambiente de $\pm 20^{\circ}\text{C}$ para evitar descomposición temprana del fruto y se evaluó:

-*Peso del fruto (pufru)*. Se pesaron los frutos escogidos por cada unidad experimental en una balanza electrónica y se obtuvo el peso (g).

-*Diámetro polar Ø (DEPFRU)*. Con la ayuda del flexómetro se midió desde la base hasta el ápice del fruto la distancia (cm), la cual se toma como diámetro polar.

-*Diámetro ecuatorial ⊖ (DEFRU)* Se realizó el corte longitudinal al fruto de zapallo, dividiéndose en dos y posteriormente con la ayuda de un flexómetro se midió el diámetro (cm).

-*Índice de esfericidad (IESTFRU) =*

Relación entre el diámetro polar del fruto y diámetro ecuatorial del fruto. Valores < 1 indican que el fruto tiende a ser alargado; valores > 1 indican que el fruto tiende a ser aplanado o achulado, y valores $= 1$ sugieren que el fruto es de forma redonda o esférica.

-*Espesor de la pulpa (ESPULP)*. Con el flexómetro se midió el grosor (cm) de la pulpa en la zona del máximo diámetro trasversal, desde la epidermis hasta el borde interno de la pulpa del fruto.

Color de pared (COLPULP). Se tomó según apreciación visual y de acuerdo a los descriptores que presenta el ABANICO Roche, el cual en cada paleta representa la tonalidad del color de la pulpa por medio de clasificación numérica de 1-15.

-*Número total de semillas (NTSEMFR)*. Se extrajeron las semillas de los frutos escogidos y se agregaron a un balde con agua, se pasó tres veces por un tamiz de 2 mm para que retirar el mucilago,

después se pasaron a bolsas de mallas en donde se esparcían para su posterior secado y conteo.

-*Peso total de semillas (PTSEMFR)*. Después del secado, se tomaron cada una de las bolsas de mallas que contenía las semillas de los frutos por unidad experimental y se llevaron a una balanza de precisión para conocer su peso (g)

-*Peso de 100 semillas (PE100SEM)*. De acuerdo al peso Total de Semillas obtenido, se realizó una regla de tres en donde se promedió el peso total de 100 semillas.

-*Peso unitario de semilla (PUSEM)*. Se toma como base el peso total de semillas y se hace la conversión para conocer el peso unitario de la semilla.

-*Materia seca % (MSEC)*. Para la medición de materia seca se utilizó el protocolo establecido por el laboratorio de semillas de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira y se calculó mediante la siguiente formula:

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de las diferentes dosis en los caracteres agronómicos.

En las diferentes dosis evaluadas en los tres fertilizantes edáficos se encontró que al aumentar un 50% la dosis comercial se presentan diferencias significativas especialmente en variables como Peso Total de Frutos por unidad experimental (PT-FRU), Diámetro Ecuatorial del fruto (DEFRU), Diámetro Polar del fruto (DPFRU), Número Total de Semillas por Fruto (NTSEMFR) y en el Peso Total de Semillas por Fruto en (PTSEMFR) (Tabla 2).

También se presentaron diferencias significativas entre la dosis comercial más 25% y la dosis comercial en las variables de Diámetro Ecuatorial del Fruto, Diámetro Polar del Fruto, Número total de Semillas por Fruto y Peso Total de Semillas por fruto.

Efecto en Materia seca (MSEC)

El género *C. maxima* se considera que no posee materia seca elevada, los rangos oscilan entre

4 - 7%. En la presente investigación se mantuvieron entre 7 a 8% de materia seca como se muestra en la Tabla 2.

TABLA 2. Análisis de varianza de las dosis de fertilizantes aplicadas sobre las variables agronómicas de zapallo variedad unapal mandarino.

DESCRIPTOR	XT1 (Dosis comercial)	XT2 (Dosis comercial +25%)	XT3 (Dosis comercial +50%)	MEDIA (\bar{X})	DMS (0,05)	CV (%)
PTFRU	11,783(B)	12,433(B)	19,517(A)	14,5778	3,4197	28,00437
NTFRU	6,833(A)	8,167(A)	9,0(A)	8	2,277	33,97814
PUFRU	2069,2 (B)	2,043,9(B)	2606,3(A)	2239,819	523,91	27,92401
DEFRU	18,1792(A)(B)	19,2583(B)	20,5250(A)	19,32083	1,8293	11,30307
DPFRU	15,4458(A)	14,0083(B)	15,5417(A)	14,99861	1,4295	11,37774
IESTFRU	1,18965(B)	1,38090(A)	1,32421(A)	1,298256	0,1116	10,26513
ESPULP	3,3708(A)	3,4750(A)	3,6917(A)	3,5125	0,3687	12,53229
COLPULP	3,4583(A)	3,9167(A)	3,7917(A)	2,72222	1,2997	41,6843
NTSEMFR	374,17 (A)(B)	359,21(B)	410,96(A)	381,4444	43,36	13,57047
PTSEMFR	65,511(A)(B)	62,452(B)	74,145(A)	67,36938	9,3715	16,60654
P100SEM	17,803(A)	17,623(A)	18,186(A)	17,87044	2,2442	14,99224
PUSEM	0,17803(A)	0,17623(A)	0,19019(A)	0,181483	0,029	19,04941
MSEC	8,0547(A)	7,9261(A)	7,7621(A)	7,914314	1,3753	20,74577

Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba DUNCAN ($p<0,05$).

Efecto de los tres fertilizantes edáficos en los caracteres agronómicos.

De los fertilizantes edáficos analizados, se puede observar que el producto FE-1® presenta diferencia significativa en la variable de Número Total de Semillas por Fruto (NTSEMFR). El

producto FE-3® se destaca principalmente en el Espesor de la Pulpa del Fruto (ESPULP) presentando una diferencia mínima significativa con los otros fertilizantes (Tabla 3).

TABLA 3. Efecto de los fertilizantes edáficos en las variables agronómicas del zapallo variedad unapal mandarino.

DESCRIPCIÓN	FE-1®	FE-2®	FE-3®	DMS (0,05)
PTFRU	15,692(A)	14,858(A)	13,183(A)	3,4197
NTFRU	8,750(A)	7,833(A)	7,417(A)	2,277
PUFRU	2387,8(A)	2265,1(A)	2066,5(A)	523,91
DEFRU	19,6583(A)	19,4750(A)	18,8292(A)	1,0293
DPFRU	15,0042(A)	14,7792(A)	15,2125(A)	1,4295
IESTFRU	1,32217 (A)	1,32506(A)	1,24754(A)	0,1116
ESPULP	3,2875(B)	3,5625(A)(B)	3,6875(A)	0,3687
COLPULP	4,0833(A)	3,5417(A)	3,5417(A)	1,2997
NTSEMFR	409,08 (A)	353,0(B)	382,25(A)(B)	43,36
PTSEMFR	71,253(A)	64,562(A)	66,293(A)	9,3715
P100SEM	17,711(A)	18,632(A)	17,269(A)	2,2442
PUSEM	0,18544(A)	0,18632(A)	0,17269(A)	0,029
MSEC	7,9435(A)	7,7565(A)	8,0429(A)	1,3753

Letras diferentes indican diferencias significativas según la prueba DUNCAN ($p<0,05$).

Peso total de frutos por unidad experimental (PTFRU)

El analizar el peso total de frutos por unidad experimental permite tener una idea de la importancia de los fertilizantes para la producción comercial. Según el análisis de varianza y la prueba Duncan se observa que la Dosis Comercial fue la de menor rendimiento con 11,783 kg/parcela, seguida de la Dosis Comercial +25% con 12,433 kg/parcela, no mostrando diferencias significativas entre ellas, mientras tanto al aumentar la Dosis Comercial un 50% se encuentran 19,517 kg /parcela, lo cual hace que se diferencie de los otros dos tratamientos.

En el caso de los fertilizantes a pesar que el análisis de varianza no muestra diferencias significativas, si se destaca el FE-1 con una media general de 15,692 kg/parcela, como el fertilizante edáfico de mejor efecto (Figura 1).

Estos resultados permiten suponer que es necesario aumentar la dosis un 50% en cada uno de los tres fertilizantes edáficos para aumentar rendimientos.

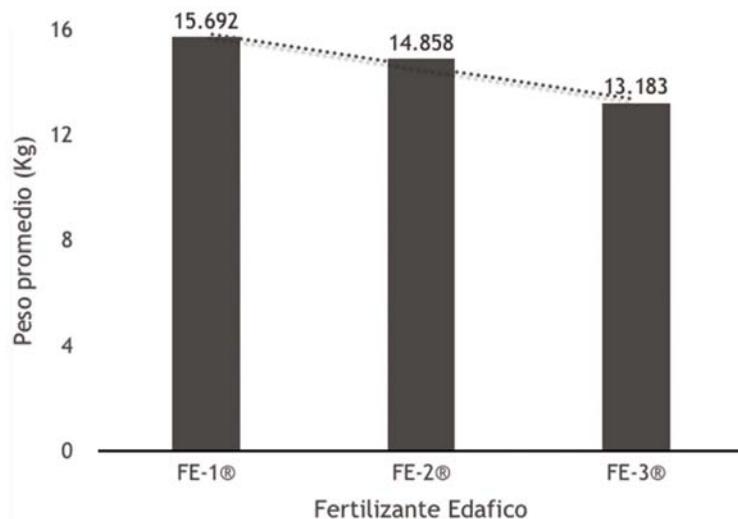


Figura 1. Efecto de los fertilizantes para la variable peso del fruto por unidad experimental.

Número total de frutos (NTFRU)

La Dosis Comercial +50% presentó una media de frutos por parcela de 9,0 (1,5 frutos por las 6 plantas que había por unidad experimental) (Figura 2), pero no se muestra una diferencia significativa entre las dosis ni entre los fertilizantes, lo cual sugiere que el

número total de frutos no está influenciada ni por las diferentes dosis ni el fertilizante sino más bien es un factor de tipo genético, en ese sentido y de acuerdo con Amariles y López (1994), se espera que un alto número de frutos conduzca a una mayor producción.

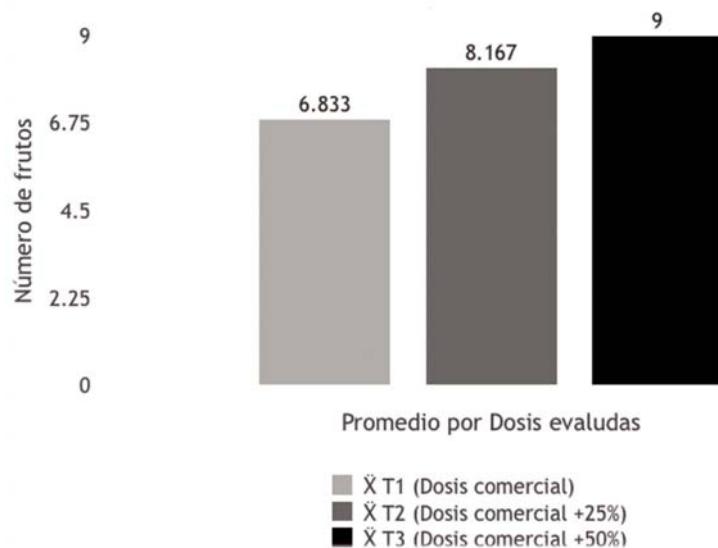


Figura 2. Promedio de número de frutos por unidad experimental según la dosis.

Peso Promedio Unitario del Fruto (PUFRU)

Esta variable es de mucha importancia ya que se buscan zapallos con peso promedio en el mercado de 3 a 5 kg. El análisis de varianza muestra que existen diferencias significativas en las diferentes dosis, mostrando que el

tratamiento tres (Dosis comercial +50%) presentó los frutos más grandes, pero no superaron el peso promedio de *C. maxima* de 3,42 kg según lo mostrado por Amariles & López, (1994) (Figura 3). Este resultado está relacionado con el peso total de frutos por unidad experimental y puede beneficiar al productor.

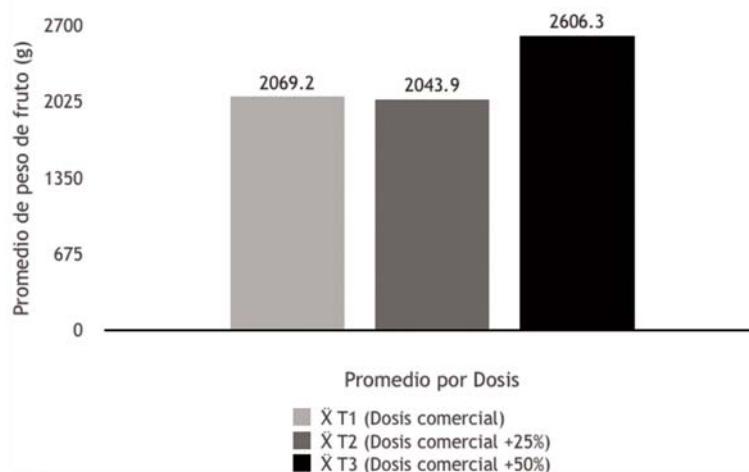


Figura 3. Peso promedio del fruto según las dosis evaluadas.

Diámetro ecuatorial (DEFRU), diámetro polar (DPFRU) e índice de esfericidad

Estas tres variables mostraron diferencias significativas entre las diferentes dosis evaluadas, encontrándose en el Diámetro Ecuatorial una diferencia

mínima significativa (dms) de 1,8293 cm, destacándose el tratamiento tres (Dosis comercial +50%) con una media de 20,5250 cm; En la variable del diámetro polar se encontró diferencias significativas entre La Dosis Comercial y La Dosis Comercial +50% con La Dosis Comercial +25% (Figura 4).

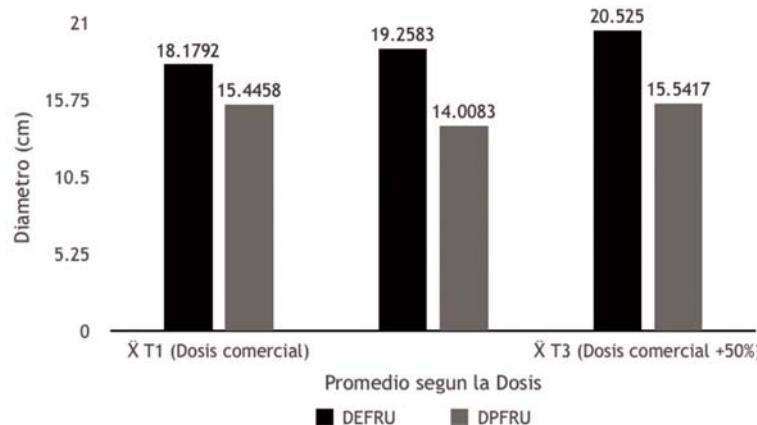


Figura 4. Relación entre el diámetro polar y ecuatorial de los frutos por tratamiento.

El índice de esfericidad permite conocer el formato de fruto según las medidas de diámetro ecuatorial y polar. Actualmente existe la tendencia en el consumidor a preferir frutos de forma globular o redonda.

El género *Cucurbita* presenta una alta variabilidad para el formato del fruto, en esta investigación no se

presentaron diferencias significativas entre las dosis ni los fertilizantes evaluados, los frutos en este ensayo tienden a ser aplazados y elípticos, ya que en las diferentes dosis evaluadas presentan medidas mayores a 1 (Figura 5), sin embargo a medida que se le aumenta la dosis el fruto tiende a ser más aplazado, lo cual va a facilitar el acondicionamiento, embalaje y comercialización, por parte del productor.

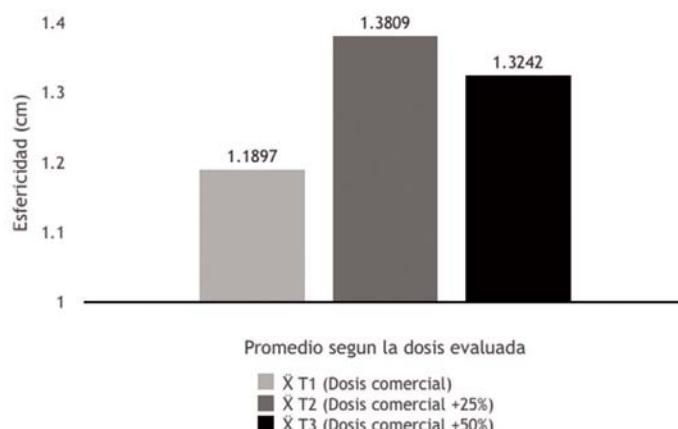


Figura 5. Relación del índice de esfericidad en los diferentes tratamientos evaluados.

Espesor de la pulpa. Esta variable es importante porque afecta la aceptación del consumidor, debido a que a mayor grosor parece más atractivo el fruto. El zapallo Unalpal-Mandarino es una variedad con menor espesor en comparación con otras variedades. En los ensayos no se observó una diferencia significativa entre los tres tratamientos, aunque hay una tendencia entre el aumento de la dosis con el aumento del espesor de la pulpa. Por

su parte en el caso de los fertilizantes edáficos si se evidenciaron diferencias marcadas, siendo el mejor FE-3®, seguido de FE-2® y por último FE-1® (Figura 6) resultados similares reportan Tobar *et al.*, (2009) quienes al evaluar diferentes familias de zapallo encontraron que en el carácter del espesor de pulpa (EP) los resultados variaban entre 3.34 (F11a) y 4.21 cm (F11b) con un promedio de 3.69 cm según la familia evaluada.

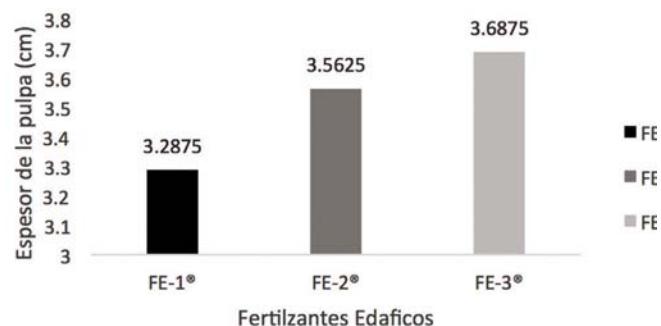


Figura 6. Espesor de la pulpa según los fertilizantes edáficos utilizados.

Color de la pulpa (COLPULP). La calidad y el valor nutritivo del fruto hace referencia al color de la pulpa, encontrándose en éste principalmente vitamina A y minerales; el consumidor prefiere colores naranjas o amarillos. La variedad Unapal- Mandarino presenta colores claros respecto a otras variedades como Bolo verde, Llanogrande o Abanico 73. En esta investigación no se evidenciaron diferencias significativas para esta variable entre las dosis ni los fertilizantes aplicados. El color estuvo entre 3 y 4 específicamente, siempre siendo uniforme en todos los tratamientos. La característica del color de la pulpa está determinada por condiciones genéticas y bajo las condiciones de este ensayo, no se encontraron respuestas a coloración debido a niveles de nutrición.

Número total de semillas por fruto (NTSE-MFR). En general, se acepta que la especie del género *Cucurbita*, tiene un alto número de semillas por frutos y la producción de semillas es un proceso relativamente sencillo, pues con un área pequeña se puede conseguir un adecuado suministro de semillas. El análisis de varianza mostró diferencias significativas entre las dosis, observándose un aumento de semillas al incrementar la Dosis Comercial +50%, esta última con una media de 410,96 semillas por fruto (Figura 7). Este resultado supera los valores reportado por Pérez M., (1997) evaluando diferentes genotipo, en los cuales el rango de semillas por fruto está de 284,6 en la Población 34 a 340,8 en la Población 11.

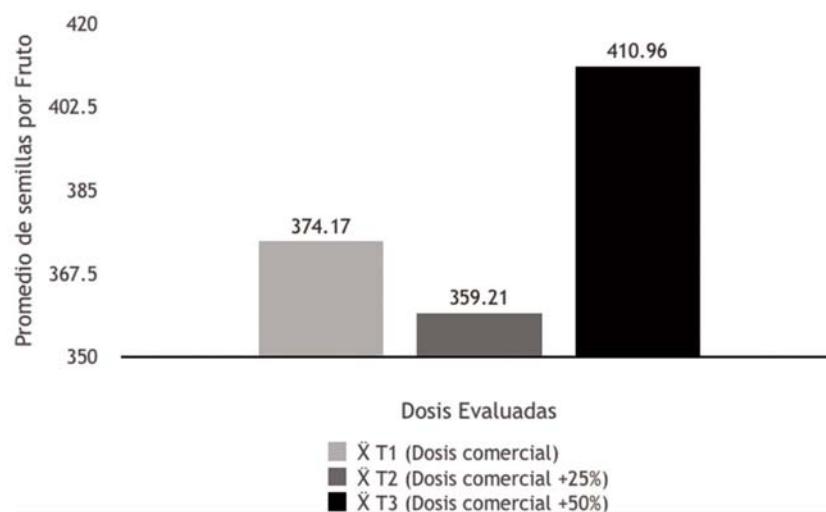


Figura 7. Número total de semillas por fruto según la dosis evaluada.

Peso total de semillas por fruto (PTSEMFR). Según los resultados obtenidos en esta variable se presentan diferencias significativas entre las dosis utilizadas, cuando se incrementó la dosis comercial un 50%, aumento el peso a un promedio de 74,145

g. Este resultado está correlacionado con la variable nombrada anteriormente (Número total de semillas por fruto), lo que da a entender que al haber un aumento en el número de semillas, se aumenta el peso total de semillas por fruto (Figura 8).

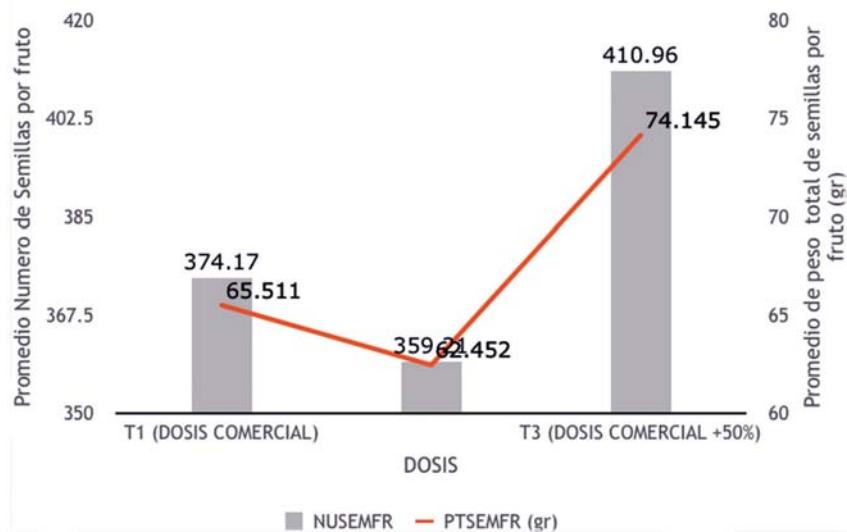


Figura 8. Correlación entre el número de semillas por fruto con peso total de semillas por fruto.

Peso de 100 semillas (P100SEM) y peso unitario de semilla (PUSEM).

El peso de 100 semillas es un factor relacionado con la calidad fisiológica de la semilla. En general, el peso de la semilla es mayor en *C. maxima* que en *C. moschata*, como lo señalan Amariles & López, (1994). En las pruebas realizadas en el laboratorio no se encontraron diferencias significativas en las dosis ni en los fertilizantes evaluados, el promedio de cada una de las dosis evaluadas de acuerdo a la variable de peso de 100 semillas fue para T1 Dosis Comercial 17,803; T2 Dosis Comercial + 25% 17,623; T3 Dosis Comercial +50% 18,186. En el caso de los fertilizantes se encontraron medias de 17,711 g para FE-3®, 18,632 g para FE-2® y 17,269 g para FE-1®, comparados con Pérez (1997) con valores de 13,77 g, se obtuvieron semillas de mayor peso, corroborando que el efecto de la fertilización juega un papel importante en el peso de la semilla.

Para la variable Peso Unitario de Semillas, no se encontraron diferencias significativas entre la do-

sis ni entre los fertilizantes, estos valores están correlacionados con los del peso de 100 semillas.

Conclusiones

Al aumentar la dosis comercial un 50% se favorece el aumento de los caracteres agronómicos en el cultivo, como el peso total de frutos, peso unitario de fruto, diámetro ecuatorial del fruto, diámetro polar del fruto, índice de esfericidad, número total de semillas por fruto y peso total de semillas por fruto, son los más relevantes frente a las dosis comercial y dosis comercial + 25%; lo cual beneficiará al agricultor en el momento de venta de su producción.

Los fertilizantes influyeron en el comportamiento de variables de caracteres agronómicas de interés para el consumidor como son: Espesor de la Pulpa en el cual se destaca FE-3® y Número Total de Semillas por Fruto en donde se recalcan FE-1® y FE-3®.

Literatura citada

1. Amariles C & López A. (1994). Aumento, caracterización, evaluación y selección de poblaciones promisorias de zapallo. (Tesis de pregrado) Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Valle del Cauca, Colombia.
2. Agronet. 2014. Cifras Agropecuarias.
3. Caicedo, L. A. (1993). Horticultura. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 6 (Ed.). (539 p.). Manuscrito.
4. Carmo, G.A. (2009). Crescimento, nutrição e produção de cucurbitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada. (Tese Doutorado em Agronomia) Universidade Federal Rural do Semiárido. Recuperado de: http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/82/teses_2009/TESE_GILCIMAR_CARMO.pdf
5. Espitia, C. M. (2004). Estimación y análisis de parámetros genéticos en cruzamientos dialélicos de zapallo (*Cucurbita moschata* duch. ex poir.). (Tesis de Doctorado) Escuela de Posgrados Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. 206 p.
6. FAO. 2014. Estadísticas agrícolas mundiales. Recuperado de: <http://www.fao.org/statistics/es/>
7. FAO.1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>
8. Maynard, D. N; Elmostrom, G. W; Talcott, S. T; y Carle, R. B. (2004). El dorado and la estrella compact planta tropical pumpkin hyrids. Recuperado de <http://www.gcrec.ifas.ufl.edu/tpmanuscript.htm>
9. Pérez, S. (1997). Evaluación del rendimiento y calidad del fruto de tres poblaciones promisorias de zapallo Cucurbita sp. (Tesis de pregrado) Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de Colombia, Palmira. Valle del Cauca, Colombia
10. Ribeiro, D. S. (2008). Parâmetros agrometeorológicos de ambiente protegido com o cultivo de abóbora italiana sob adubação orgânica. (Tesis de Doctorado) Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, Brasil. Recuperado de: http://www.ufpel.edu.br/tede/tde_arquivos/7/TDE-2008-06-18T123717Z-269/Publico/Tese_%20Dagnon_%20Ribeiro.pdf
11. Sackett, C. (1975). Squash. Fruit vegetable facts pointers. Washington. 2-9 p.
12. Santos, M. R; Aparecida, M; Moreira, M; Aparecida, C; Vidigal, S. M. (2012). Rendimento, qualidade e absorção de nutrientes pelos frutos de abóbora em função de doses de biofertilizante. *Revista Horticultura Brasileira*. 30 (01)
13. Tobar T, D.E., Vallejo C, F.A., Baena G, D. (2009). Evaluación de familias de zapallo (*Cucurbita moschata Duch.*) seleccionadas por mayor contenido de materia seca en el fruto y otras características agronómicas. *Revista Acta Agronómica*. 59 (1): 65-72
14. Vallejo, F. A & Estrada, E. (2004).Producción de hortalizas de clima cálido. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
15. Vallejo, F. A. & Mosquera, S. E. (1998). Transferencia del gen *Bu* a poblaciones de zapallo, *Cucurbita* sp. Con crecimiento postrado. *Acta Agronomica* (48):7 -18.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 2 de septiembre de 2014

Aceptado: 6 de octubre de 2014

Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia.

Methodological proposal of prioritizing of areas for conservation of hydrographic basins. Validation in the river Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia

Proposta metodológica para priorização de áreas para a conservação de bacias hidrográficas. Validação de rio Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colômbia.

Álvaro Martín Gutiérrez Malaxechebarría¹, Yorlenny Zambrano Rodríguez² & Laura Ospina Hoyos³

¹Ingeniero Civil, Magíster en Ingeniería Civil, Doctor en Estudios Ambientales y Rurales. ^{2,3}Estudiante de Ingeniería Ambiental de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia.

^{1,2,3}Proyecto Curricular Ingeniería Ambiental. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia.

¹amgutierrezm@udistrital.edu.co, ²yors06@hotmail.com, ³lauospinah0524@gmail.com

Resumen

Las cuencas hidrográficas son unidades de territorio que suplen las necesidades humanas a través de la oferta de recursos naturales, sin embargo, estas áreas también deben ser consideradas espacios potenciales de conservación y garantía de recursos para las generaciones venideras. Esta investigación plantea una propuesta de priorización de áreas estratégicas de conservación para la regulación de caudales, validada con el apoyo de la comunidad en la microcuenca del río Caquinal ubicada en el municipio de Fómeque, Cundinamarca, Colombia. La propuesta incluye elementos de índole físico-ambiental, normativo, socioeconómico y cultural, enfocados a integrar y a entender la dinámica de la cuenca hidrográfica, en cuanto a su respuesta hidrológica dentro del modelo lluvia-escorrentía, su relación con la morfometría,

los múltiples usos del recurso hídrico y los lineamientos de orden ambiental, legislativo y social que aplican a una zona de estudio. La metodología, está dividida en dos fases, la primera corresponde al análisis de la cuenca y la segunda específicamente a la priorización de áreas, en la cual se propone la aplicación de la matriz descriptiva que reúne las principales variables a analizar de cada área y permite identificar cuáles de éstas son prioritarias o estratégicas. Se encontró que la metodología desarrollada constituye una herramienta para la toma de decisiones en la protección de cuencas hidrográficas y se espera que guie las acciones para priorizar áreas con diversos fines y objetivos.

Palabras clave: áreas estratégicas, comunidad, conservación, cuenca hidrográfica, recurso hídrico.

Abstract

The hydrographic basins are units of territory that meet human needs through the supply of natural resources, however, these areas should also be considered potential spaces of conservation and guarantee of resources for future generations. This research presents a proposal for prioritization of strategic areas of conservation for the regulation of flows, validated with the support of the community in the watershed of the Caquinal River, located in the municipality of Fómeque, Cundinamarca, Colombia. The proposal includes elements of nature physical-environmental, regulatory, socio-economic and cultural, aimed to integrate and understand the dynamics of the river basin, in terms of their hydrological response within the model rain-runoff, his relationship with morphometry, the multiple uses of water resources and guidelines for environmental, legislative and social order that applied to a study area. The methodology, is divided into two phases, the first corresponds to the analysis of the basin and the second specifically on the prioritization of areas, which proposes the application of the descriptive matrix that brings together the main variables to analyze in each area and it identifies which of these areas are priorities or strategic. It was found that the methodology developed is a tool for decision making at watershed protection and it is expected to guide the actions to prioritize areas for different purposes and objectives.

Key-words: strategic areas, community, conservation, hydrographic basin, water resource

Resumo

As bacias hidrográficas são unidades do território que atendem as necessidades humanas através da oferta de recursos naturais, no entanto essas áreas devem ser considerar espaços potenciais de conservação e garantia de recursos naturais para as gerações futuras. Esta pesquisa apresenta uma proposta de priorização de áreas estratégicas de conservação para a regulação das cidades, validada com apoio da comunidade na microbacia do rio Caquinal localizado no município de Fómeque, Cundinamarca, Colômbia. A proposta inclui elementos de natureza físico-ambiental, regulatória, socioeconômica e cultural, visando a integração e compreensão da dinâmica da bacia do rio, em termos de resposta hidrológica dentro do modelo chuva-escoamento, sua relação com a morfometria, os múltiplos usos dos recursos hídricos e diretrizes para a ordem ambiental, jurídica e social aplicada a uma área de estudo. A metodologia é dividido em duas fases, a primeira é a análise da bacia e a segunda fase, especificamente prioridade áreas em que se propõe a aplicação de matriz descritiva, que inclui. As principais variáveis a serem analisadas em cada área e identificar quais delas são estratégicos ou de prioridade. Verificou-se que a metodologia desenvolvida, é uma ferramenta para tomada de decisão na proteção de bacias hidrográficas e é esperado para orientar as ações para priorizar áreas para diversos fins e objetivos.

Palavras-chave: áreas estratégicas, comunidade, conservação, , bacias hidrográficas, recurso hídrico.

Introducción

Las cuencas hidrográficas son unidades de territorio que funcionan mediante la interacción de un subsistema hídrico que produce agua, junto con un subsistema económico y social, activado por el hombre, el capital, el trabajo y la tecnología (Díaz Granados & Gutiérrez, 2007). Si bien, las cuencas hidrográficas se delimitan mediante una divisoria

de aguas, que es una línea imaginaria que separa la superficie de tierra cuyo drenaje fluye hacia un cauce dado, de las superficies de tierra cuyos drenajes corren hacia otro cauce (Chow, 1994); debido al uso que hacen las diferentes poblaciones sobre estas, también se debe considerar una delimitación que refleje la demanda real de los

recursos de la cuenca, pues no siempre los usuarios que hacen uso de estos recursos se localizan dentro del límite natural de ésta. Así, el área total sobre la cual se ubican los diferentes usos humanos del agua de una cuenca se ha denominado *cuenca social*. Este concepto expresa el área total sobre la cual una población hace uso de los recursos naturales de una cuenca incluso más allá de sus límites hidrológicos.

Es necesario buscar alternativas de conservación y protección de los recursos, donde a la vez que se pueda hacer aprovechamiento de los recursos se garantice también su accesibilidad para las generaciones venideras, mediante estrategias que involucren alternativas más allá de los límites naturales y logren una adecuada mejoría de las áreas de una cuenca, considerando los usos que se dan al recurso hídrico, como bien común y como eje de participación social de las comunidades beneficiarias. Para ello se ha formulado una metodología que pretende favorecer la regulación de los caudales de la cuenca, manteniendo a través del tiempo la dotación de recurso hídrico, y así fortalecer la respuesta del sistema de la cuenca frente a alguna eventualidad; considerando de vital importancia el cuidado del tejido hídrico principal como lo son nacimientos de agua, pantanos, manantiales, rondas hídricas, entre otros; así como la inclusión de la comunidad en los procesos y proyectos que se desarrolle.

Esta investigación tiene como objetivo aplicar dicha metodología a la priorización de áreas para la conservación de una cuenca que abastece a una comunidad rural en los Andes Colombianos la cual otorga múltiples usos al recurso hídrico; resaltando que se contó con el apoyo de dicha comunidad. La iniciativa de seleccionar áreas que permitan mantener el ecosistema, las relaciones sociales y la regulación natural de los caudales, considera como aspectos fundamentales para alcanzar una conservación eficaz: definir, conocer y dar prioridad a los lugares en los que se tiene que actuar en primera instancia (Newton, 2011), es decir, la identificación de áreas estratégicas que

propicien la dinámica hidrológica y la respuesta natural de la cuenca a los fenómenos de precipitación-evaporación-infiltración.

En esta investigación fueron considerados elementos de carácter físico-ambientales, normativos, socioeconómicos y culturales; enfocados a integrar y a entender la dinámica de la cuenca hidrográfica, en cuanto a su respuesta hidrológica dentro del modelo lluvia-escorrentía, su relación con su morfometría, los múltiples usos del recurso hídrico y los lineamientos de orden ambiental, legislativo y social que aplican a la zona de estudio.

Dentro de los factores que afectan la respuesta hidrológica de una cuenca se han clasificado 5 grupos así: factores morfométricos, factores climáticos, factores asociados al suelo, factores de cobertura vegetal y los factores sociales. Estos factores están relacionados con la descripción física de la cuenca, su comportamiento ante un fenómeno de precipitación, los regímenes de caudales, el desarrollo del suelo, el tipo de vegetación, los procesos de infiltración y percolación en el suelo dada su conductividad hidráulica para diferentes condiciones de humedad, entre otros.

Si bien, la regulación de caudales está fuertemente relacionada con las variables de orden natural, también depende de las características sociales que se den en la zona de estudio, ya que los diferentes usos del agua y el suelo, están condicionados a las actividades económicas y culturales de la población. Además, el suelo está relacionado con las coberturas vegetales presentes en la cuenca, cómo éstas contribuyen a la regulación hídrica y evidencian el grado de alteración o intervención humana a las diferentes áreas (Deeb, 1992). Debido a esto, es necesario considerar los aspectos sociales y culturales como permanentes modeladores de la dinámica de una cuenca, entendiendo además que su comportamiento está ligado a una memoria cultural y tradiciones propias de cada región.

Metodología

Contexto

La presente investigación se desarrolló en la microcuenca del río Caquinal, ubicada en el noroccidente del municipio de Fómeque, Cundinamarca, Colombia, con un área natural de 2316 ha y una cuenca social de 4992 ha, abas-

teciendo a la población de 7 veredas del municipio y al Centro Poblado La Unión, con un total aproximado de 900 usuarios. Según la Corporación Autónoma Regional del Guavio CORPOGUAVIO, la microcuenca está en agotamiento, es decir que está imposibilitada para soportar nuevos usos. (CORPOGUAVIO, 2011). En la Figura 1, se visualiza el área y la ubicación de la zona de estudio.

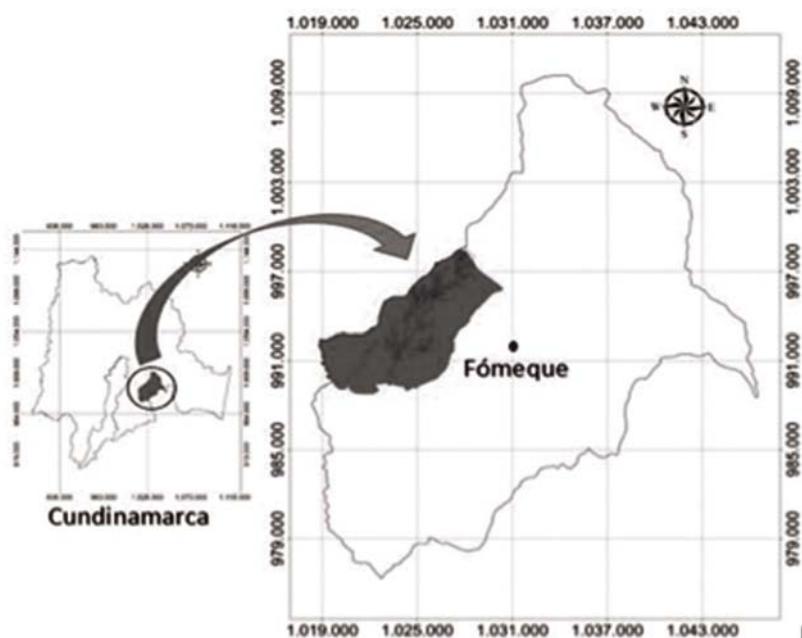


Figura 1. Área y ubicación de la zona de estudio.

Características físico-ambientales

El río Caquinal nace en el páramo de Chingaza a 3370 msnm, en el humedal El Diamante, nutriéndose más adelante de los ríos Blanca y La Chorrera, hasta llegar al río Negro que se prolonga hasta el Orinoco con el nombre de río Guayuriba. La cuenca social presenta alturas que oscilan entre los 1700 y 3660 msnm, lo cual permite la presencia de varios pisos térmicos registrando en esta zona temperaturas medias que oscilan entre los 9°C y 21°C. Estos factores climatológicos y topográficos favorecen la presencia de las zonas de vida: Sub-páramo, Bosque Alto Andino, Bosque Andino y Bosque Sub-andino; se presentan pendientes que van

desde ligeramente planas hasta totalmente escarpadas. El régimen de lluvias es de tipo monomodal, con precipitaciones medias en la parte alta de 1675mm anuales y en la parte baja de 975mm anuales, con un periodo de mayor precipitación en los últimos meses del año (Universidad Nacional de Colombia, 2000). En cuanto a la geología, las formaciones presentes son rocas sedimentarias compuestas por bancos potentes de lodoletas negras y arcillolitas café con abundante pirita. La geomorfología se caracteriza por ser un paisaje de montaña con relieve de origen estructural-denudacional y agradacional. La cuenca presenta 12 unidades cartográficas de suelos, en su mayoría con textura Franco-Arenosa.

Características socioeconómicas

Las cuencas alta, media y baja, se definieron de acuerdo a los siguientes criterios: la cuenca alta es aquella que va desde el nacimiento del río Caquinal hasta el punto en que se encuentra la última bocatoma a 2531 msnm, la cuenca media de ahí hasta 2013 msnm y la cuenca baja hasta su desembocadura en el Río Negro a 1735 msnm. La cuenca alta se encuentra fuertemente poterizada por el efecto histórico de la deforestación y la instalación de la ganadería extensiva, tiene un área de 1788,69 ha y presenta una baja ocupación humana. En la cuenca media se ubica la mayor parte de la población rural y cultivos dirigidos al mercado, en especial, habichuela (*Phaseolus vulgaris*), tomate (*Lycopersicum esculentum*), pimentón (*Capsicum annum*), cebolla (*Allium cepa*), pepino de llenar (*Cyclanthera Pe-data*), entre otros, así como a la actividad avícola y porcícola de mediana escala. En la cuenca baja se ubican industrias avícolas, multinacionales de producción de esquejes, fincas de recreo y empresas turísticas, así como el Centro poblado La Unión.

Organización comunitaria de la cuenca social

El río Caquinal abastece dos acueductos comunitarios y tres distritos de riego, los cuales se agruparon en el año 2010 en la Asociación de Segundo Grado de Usuarios de la Cuenca Caquinal ASOCAQUINAL cuyo “objeto principal es concertar el adecuado manejo de los recursos naturales y culturales de la cuenca de Caquinal, en cooperación con los distritos de riego y acueductos de ésta, así como con las entidades gubernamentales y no gubernamentales de orden nacional e internacional” (Estatutos ASOCAQUINAL, 2010). Además de los usuarios legalmente constituidos la río soporta numerosos usuarios de hecho, localizados de forma dispersa y no representados por ASOCAQUINAL, así como también un nuevo distrito de adecuación de tierras, denominado ASORENACER que tampoco está incluido en dicha asociación. En la Figura 2 se evidencian las diferentes organizaciones sociales que tienen concesión de aguas sobre el río Caquinal y abastecen a un cierto número de usuarios con un caudal establecido y regulado por CORPOGUAVIO.

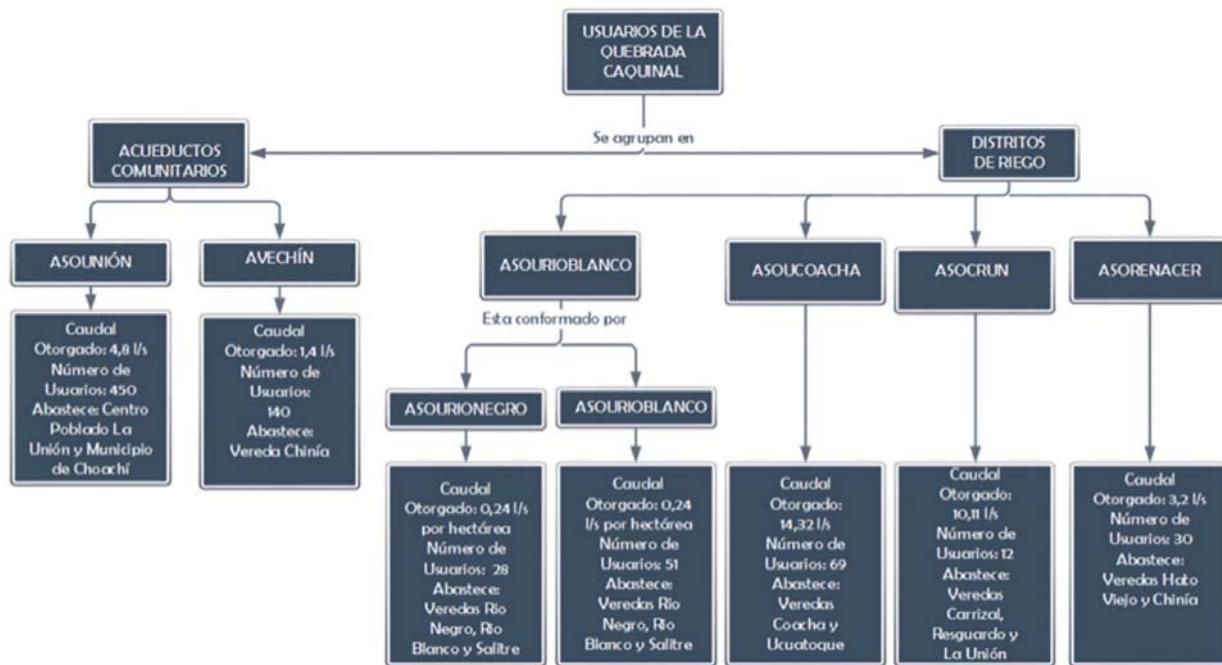


Figura 2. Esquema de los usuarios del Río Caquinal.

Fases metodológicas

La metodología, está dividida en dos fases, la primera corresponde al análisis de la cuenca y la segunda específicamente a la metodología para la priorización de áreas.

Fase I: Análisis de la cuenca

Búsqueda y recopilación de información

Esta recopilación de datos se realizó en dos etapas: la primera fue la consulta de la información secundaria. En la segunda etapa se llevó a cabo el acercamiento con la comunidad y el levantamiento de información primaria en campo, de los diferentes datos relacionados con la estructura social de la cuenca, actividades económicas, cambios de uso del suelo y usos del recurso hídrico. Dentro de la información secundaria que se consultó, se tomó en cuenta la cartografía de la zona de estudio, que se digitalizó y procesó utilizando el programa ArcGis 10, así: Topografía, Hidrología y Pendientes (IGAC, 1995); Geología (Servicio Geológico Colombiano (SGC), 2000); Suelos (IGAC, 2000); Coberturas Vegetales en Lansat Imagery de ArcGis 10 (ESRI , 2010) clasificadas teniendo en cuenta las coberturas establecidas en la Geodatabase de la Agencia Nacional De Licencias Ambientales (ANLA), utilizadas para la generación de cartografía de proyectos. Climática: estación climatológica de temperatura y precipitación del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) conocida como Estación Fómeque y las Estaciones Hato Viejo, El Paval, La Unión, Laguna Chingaza y La Playa de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB). Político-administrativo (Gobernación de Cundinamarca, 2000). Información Predial: subdirección de catastro del IGAC. Erosionabilidad: aplicación de las formulas de la ley de

Darcy y Factor K de erosionabilidad (Zuñiga Palma, 2010), junto con la información de las unidades del suelo (IGAC, 2000). Erodabilidad: superponiendo la información de erosionabilidad, precipitación y pendientes, (Zuñiga Palma, 2008). Amenazas y Riesgos: cartografía temática de amenazas por avalanchas, remoción en masa, inundaciones e incendios (CORPOGUAVIO, 2005), corroborándose con las visitas hechas en campo.

Identificación de actores y organizaciones comunitarias en la cuenca

La identificación de actores se realiza a través del acercamiento a la comunidad en las visitas de campo, hablando sobre la gestión comunitaria del agua, la cual se ha dado a lo largo de los años con los presidentes de los distritos de riesgo y con los usuarios, quienes viven en las diferentes partes de la cuenca; también se indaga sobre la relación de los residentes y trabajadores de la cuenca alta con el recurso hídrico y su accesibilidad a éste. Además se leyó la información que poseen las diferentes entidades encargadas del manejo del recurso hídrico como lo son CORPOGUAVIO y ASOCAQUINAL. Esta identificación de actores permite definir la cuenca social y la cantidad de usuarios que demandan agua de la río.

Aplicación de encuestas

Dentro de las estrategias utilizadas para recopilar información del área de estudio, se realizaron una serie de encuestas que tomaban información sobre las percepciones frente a temas relacionados con el medio ambiente, memoria cultural e importancia de priorización de áreas en la cuenca alta, para lo cual fue necesario realizar un formulario con 33 preguntas, unas con respuesta abierta, otras con respuesta Si/No y otras con opciones;

que indagan sobre la relación de la comunidad con el recurso hídrico y la necesidad de este recurso para el desarrollo de las diferentes actividades económicas. Así como también, indagar sobre la idea que se tiene de la protección del recurso, el ahorro de éste y las medidas de conservación que se pueden realizar en la cuenca. El tamaño poblacional de la muestra fue de 66 personas, se tomó por muestreo en bola de nieve, propuesto por Goodman (1961).

Características de la cuenca en relación con la respuesta hidrológica

Se consideraron los parámetros morfométricos que condicionan la respuesta de la cuenca a los fenómenos lluvia-escorrentía y se calcularon los parámetros más relevantes para precisar las características físicas de la cuenca, como se describe a continuación:

Pendiente promedio de la cuenca (Im)², se calcula con base en el mapa topográfico a escala 1:10.000, a partir del cual se genera un modelo digital de terreno y posteriormente un mapa de pendientes. Del cual se obtienen porcentajes de área por cada rango de pendiente y a partir de esta información se realiza un análisis estadístico donde se obtiene finalmente la pendiente promedio de la cuenca utilizando Sistemas de Información Geográfica como lo es el software Arc GIS 10 proveído por (ESRI , 2010).

Pendiente del cauce principal (Ic). Los parámetros de forma de las cuencas normalmente están asociados a relaciones del área, la longitud del cauce mayor y medidas de “esfericidad”. Dentro de los índices a analizar en este caso, se consideraron:

Factor de Forma de Horton (kf), se obtiene a partir de la siguiente relación (Horton, 1932):

$$kf = \frac{\text{Área de cuenca}}{\text{Longitud de la cuenca}^2} \quad (1)$$

Coeficiente de Compacidad o índice de Gravelius (kc), se calculó a partir de la siguiente formula (Gravelius, 1941):

$$kc = \frac{\text{Perímetro de la cuenca}}{2\sqrt{\pi \cdot \text{Área}}} \quad (2)$$

Índice de alargamiento (la), se calculó mediante la siguiente formula, propuesto por (Horton, 1945):

$$la = \frac{\text{Longitud Máxima de la Cuenca}}{\text{Ancho Máximo de la Cuenca}} \quad (3)$$

Fase II Metodología para la priorización de áreas

Esta fase de la metodología, se lleva a cabo a través de la construcción de una propuesta de identificación de áreas estratégicas y vitales para la regulación hídrica, que permitan regular los caudales del río y garanticen el acceso al recurso hídrico; esta metodología se fundamenta en 3 aspectos:

a. Definición de variables

Es necesario identificar qué variables se tendrán en consideración, para ser evaluadas y de esta forma conocer las diferentes escalas de análisis que tendrá cada una en el sentido de su aporte a la identificación de las áreas estratégicas. Estas variables son de orden físico-ambiental, normativo, socioeconómico y cultural, como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Variables a considerar en la metodología de priorización de áreas.

VARIABLES FISICO-AMBIENTALES	
GEOSFÉRICAS	Geología Geomorfología Paisaje Pendientes Erosionabilidad Erodabilidad Asociación de Suelos Clases Agrologicas Humedad del suelo Granulometría del suelo Amenazas y Riesgos
CLIMATOLÓGICAS	Precipitación Evapotranspiración Temperatura
FLORA	Coberturas Vegetales
FAUNA	Especies Nativas
HIDROLÓGICAS	Rondas Hídricas Pantanos Nacimientos de agua
VARIABLES NORMATIVAS	
ÁREAS PROTEGIDAS Y ÁREAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA ECOSISTÉMICA	Parques Nacionales Naturales Parques Naturales Regionales Presencia de páramos y sub-páramos Distritos de Manejo Integrados Distritos de conservación de suelos Áreas de recreación Reservas Naturales de la Sociedad Civil Otras áreas protegidas por otras entidades.
VARIABLES SOCIOECONÓMICAS	
USO DEL SUELO	Actividad Económica
INFRAESTRUCTURA	Vías de acceso Asentamientos Equipamientos
VARIABLES CULTURALES	
IMPORTANCIA CULTURAL	Sitios de Interés Sitios de memoria histórica Sitio Arqueológico Áreas de valor social Lugares de referencia/ubicación

b. Levantamiento de datos en campo

Para confirmar los puntos de relevancia y la localización de los predios fue necesario visitar cada uno de los predios de la cuenca alta y hacer el respectivo levantamiento del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de las diferentes coberturas vegetales encontradas, así como elementos asociados al recurso hídrico entre los que se pueden encontrar pantanos, nacimientos, afluentes secundarias, ubicación de las bocatomas, desarenadores entre otros. Esta información se carga al software ArcGis 10 (ESRI , 2010), donde se visualizan los puntos tomados con el GPS.

c. Interpretación y evaluación de la información

Se evalúan las variables en la matriz que relaciona unidades administrativas en este caso,

predios, con las variables en consideración. Resaltando las características más influyentes en la regulación hídrica, como lo son: ausencia y presencia de cuerpos hídricos, tipo de suelo, coberturas vegetales, la importancia cultural entre otros. Entre más variables asociadas a la regulación de caudales se presenten en un predio, más importante resulta ser éste, ya que la representatividad de su conservación aumenta. Cuando la metodología se utilice para otros fines deberá establecerse qué variables son más relevantes para definir la escala de alta, media y baja importancia.

En la Tabla 2 se expone un ejemplo de la matriz que se formuló para sintetizar e integrar la información obtenida en la presente investigación.

Tabla 2. Matriz Descriptiva de la información.

	VARIABLES FÍSICO-AMBIENTALES	ÁREAS		
		A	B	C
GEOSFÉRICAS	Geología	Formación Fómeque	Formación Fómeque	Formación Fómeque
	Geomorfología	Espinazos , Crestas, Escarpes, Barras Homoclinales, Glacis Coluvial, lomas	Glacis Coluvial	Crestones
	Paisaje	Media Montaña	Media Montaña	Media Montaña
	Pendientes	50-75% ; 12-25%	12-25%	25-50%
	Erosionabilidad	Media	Media	Media
	Erodabilidad	Media	Media	Media
	Asociación de Suelos	MGFf- MLKd-MGTd	MLKd	MLVe
	Clases Agrologicas	VII -IV – VI	IV	VI
	Humedad del suelo	Muy Húmedo- Húmedo a transicional seco	Húmedo a transicional seco	Húmedo transicional seco
	Granulometría del suelo	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Franco arcillosa
	Amenazas y Riesgos	Fenómenos de remoción en masa y erosión hídrica ligera	Fenómenos de remoción en masa	

...continuación Tabla 2

VARIABLES FÍSICO-AMBIENTALES	ÁREAS			
	A	B	C	
CLIMATO-LOGICAS	Precipitación	1300-1950mm	1300-1950mm	1300-1950mm
	Evapotranspiración			
	Temperatura	9-12°C	12-15°C	15-18°C
FLORA	Coberturas Vegetales	Bosque abierto, arbustal y pasto limpio	pastos limpios	Arbustal y pastos limpios
FAUNA	Especies Nativas	Sin registro	Sin registro	Sin registro
HIDROLÓGICAS	Rondas Hídricas			
	Pantanos			
	Nacimientos de agua			
VARIABLES NORMATIVAS	A	B	C	
ÁREAS PROTEGIDAS Y ÁREAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA ECOSISTÉMICA	Parques Nacionales Naturales			
	Parques Naturales Regionales			
ÁREAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA ECOSISTÉMICA	Presencia de páramos y sub-páramos			
	Distritos de Manejo Integrados			
ÁREAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA ECOSISTÉMICA	Distritos de conservación de suelos			
	Áreas de recreación			
ÁREAS DE ESPECIAL IMPORTANCIA ECOSISTÉMICA	Reservas Naturales de la Sociedad Civil			
	Otras áreas protegidas por otras entidades			
VARIABLES SOCIO-ECONÓMICAS	A	B	C	
USO DEL SUELO	Actividad Económica	Ganadería extensiva	Ganadería extensiva	Ganadería extensiva
INFRAESTRUCTURA	Vías de acceso	NO	NO	NO
	Asentamientos	SI	NO	NO
INFRAESTRUCTURA	Equipamientos	NO	NO	NO
VARIABLES CULTURALES	A	B	C	
IMPOR-TANCIA CULTURAL	Sitios de Interés			
	Sitios de memoria histórica			
IMPOR-TANCIA CULTURAL	Sitio Arqueológico			
	Áreas de valor social			
	Lugares de referencia			

*El color gris indica presencia del elemento en consideración

Resultados

Cálculo de los parámetros morfométricos

Estos cálculos permitieron conocer las características físicas de la cuenca y el comportamiento de los flujos del agua a lo largo y ancho de esta, de acuerdo con la topografía y la forma

de la cuenca. Reconociendo que, estas características influyen en la respuesta hidrológica de la cuenca.

Pendiente promedio de la cuenca (Im)²

El porcentaje de área por cada rango de pendiente se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Rango de Pendientes y su porcentaje de área en la cuenca.

Pendiente (%)	Área (%)	Pendiente (%)	Área (%)
0-1	0,27	25-50	46,14
1-3	0,39	50-75	15,97
3-7	2,01	75-100	4,64
7-12	4,48	>100	1,24
12-25	24,86		

Se estimó una pendiente media para la cuenca de 26,81%, que corresponde a pendientes ligeramente escarpadas o ligeramente empinadas; esta característica provoca grandes velocidades en el desplazamiento del agua por los cauces induciendo erosión en estos, y por consecuente transporte de grandes cantidades de sedimentos de distintos tamaños, representados por el arrastre de partículas desde la cuenca alta hasta la cuenca baja en el punto de desembocadura del río Caquinal al río Negro. Este índice está relacionado, también, con el área de posible inundación en crecidas y con los tiempos de concentración.

Factor de Forma de Horton

Para la cuenca del río Caquinal se obtiene un valor de 0,21. Debido a que es un valor menor que 1 y cercano a cero, indica que la cuenca es de forma rectangular y muy alargada.

Esto revela una tendencia a una menor amortiguación de las crecientes por efecto de la forma alargada de la cuenca, ya que permite que el agua fluya hacia la garganta de la cuenca en menos

tiempo y sin que se generen empozamientos en la cuenca media y baja.

Coeficiente de Compacidad o Índice de Gravellus

Para la cuenca del río Caquinal se obtiene un valor de 1,57, el cual indica que la cuenca es de tipo oval redonda a rectangular oblonga, por tanto la cuenca presenta una susceptibilidad de grado menor a las crecidas.

Índice de Alargamiento

Para la cuenca del río Caquinal se obtiene un valor de 3,23, que indica que la cuenca es alargada; ya que esta presenta un área más larga que ancha.

Propuesta metodológica de priorización de áreas

Con la intención de construir una propuesta metodológica de priorización de áreas efectiva y ajustada a los objetivos del estudio, se sugiere seguir unos pasos que guíen las acciones y permitan la correcta aplicación de los esfuerzos técnicos y

económicos, para lo cual se presentan a continuación los lineamientos sugeridos por los autores:

- a. Defínase el cuerpo de agua principal y sus tributarios, así como su nacimiento y su desembocadura.
- b. Identifíquese la cuenca hidrográfica con ayuda de las curvas de nivel del terreno y la divisoria de aguas para conocer el área de la cuenca natural.
- c. Establézcase la cuenca alta, media y baja de acuerdo con las características del terreno y de la configuración de los drenajes, sabiendo que la cuenca alta se caracteriza por la densidad en los drenajes y el nacimiento de los cuerpos de agua; en la cuenca media la topografía del terreno cambia y se disminuye la densidad de los drenajes, quedando uno o dos cuerpos de agua principales que discurren hacia la parte baja, (a esta parte de la cuenca se le conoce como garganta); luego se encuentra el área de la cuenca baja, conocida también como cono de deyección, donde el cauce se conforma por un solo ramal de salida de agua o punto de descarga, además de esto el relieve también cambia con respecto a la cuenca alta y media, disminuyendo la pendiente o el grado de inclinación.
- d. Habiendo identificado las tres partes de la cuenca es necesario decidir en qué zona se hará la priorización de áreas de acuerdo al objetivo del estudio.
- e. Consultese la información relacionada con la caracterización biofísica del área seleccionada de la cuenca, información de suelos, coberturas vegetales, geología, topografía, zonas de amenazas y riesgos, usos del suelo e infraestructura. (De ser posible esto debe realizarse en la búsqueda de información primaria y secundaria como fase inicial del estudio).
- f. Defínase una unidad de análisis para llevar a cabo la priorización de áreas.

*De ser la unidad predial, la unidad de priorización de áreas es necesario sobreponer los límites prediales a la información de la cuenca.

**De no ser así, se debe establecer una unidad sobre la que se vaya a realizar la priorización, bien sea por tipos de suelo, pendientes, coberturas vegetales, entre otros y sobreponer dicha unidad de análisis al área de la cuenca para generar los diferentes polígonos.

- g. Identifíquense los actores sociales involucrados en la cuenca hidrográfica y su relación con esta, en el sentido del uso y aprovechamiento de los recursos para la producción de bienes o servicios, que constituyan el frente socioeconómico de la zona (Restrepo, 2005). Será necesario hacer un acercamiento a los líderes comunitarios y a la comunidad en general, consultando e indagando la información social que pueda ser útil para el desarrollo del proyecto. (La información social recolectada será una variable de juicio y evaluación a tener en cuenta dentro del estudio).
 - h. Conociendo la mayor cantidad de características que describan la zona de estudio, es preciso iniciar con los parámetros que constituyen la base de priorización de las áreas, así:
 - Identificar los predios que pertenezcan a Parques Nacionales Naturales, Parques Nacionales Regionales, Distritos de Conservación de Suelos, Distritos de Manejo Integrado, Reservas de la Sociedad Civil o las áreas protegidas por otras entidades territoriales.
 - Establecer los nacimientos de agua y los contribuyentes al cuerpo de agua principal.
- Crear una zona de amortiguación de 100 metros a la redonda en los nacimientos de agua (Dostal, 2007). A largo de los cuerpos de agua, generar un buffer de 15 metros a cada lado (Dostal, 2007) destinados a la protección del recurso hídrico y a promover los corredores riparios en las rondas hídricas.

- Dar prioridad a los predios que tengan presencia de pantanos, lagunas u otro tipo de cuerpos de agua lenticos y cobertura vegetal nativa o de transición al bosque, así como fauna silvestre que pueda tener afectado su hábitat.
- Considerar la permeabilidad y la capacidad de infiltración del suelo como un factor que contribuye a la regulación de los caudales y al mantenimiento de la oferta hídrica en los cauces, especialmente de aquellas formaciones geológicas que supongan la presencia de un acuífero.
- Identificar los predios o áreas susceptibles a fenómenos de remoción en masa, ya que sobre éstos se deberán tomar medidas de manejo de estabilización de taludes u otras estrategias que se consideren necesarias según sea el caso.
- Resaltar los predios que representen memoria histórica, sitios de interés cultural o puntos de referencia para la comunidad.

Toda la información recolectada deberá ser integrada y analizada, emitiendo una conclusión de las áreas escogidas, para facilitar esta labor, es necesario registrar o plasmar de manera objetiva y fácil de interpretar toda la información que ha sido procesada, para lo cual se recomienda la construcción de un modelo cartográfico que soporte y permita visualizar las diferentes áreas con sus respectivas características.

Para estudios detallados se propone la aplicación de la matriz descriptiva de cada área que reúne las principales variables a analizar y permite identificar cuáles de estas son prioritarias o estratégicas. (Véase Tabla 2. Matriz Descriptiva)

Dentro del análisis final, se definen predios con alta, moderada y baja importancia; lo cual sustenta la necesidad de conservación de cada área según sus características, como se evidencia en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6, respectivamente. Los predios o áreas con mayor importancia, serán considerados *prioritarios*.

Predio de alta importancia

Tabla 4. Características del predio clasificado de Alta Importancia

AREA A

El predio presenta nacimientos de agua con presencia de drenajes a lo largo del mismo, cuenta además con la presencia de una gran zona pantanosa que contribuye a la regulación hídrica. Como se observa en la Figura 3. Se encuentra ubicado en medio de 3 unidades cartográficas de suelos; donde dos de estas son de páramo bajo que restringen el uso del suelo a cualquier actividad que no sea conservación o protección de los recursos. Este predio es bien conocido por los habitantes de la cuenca, consideran que se debe proteger debido a la deforestación que se ha hecho.

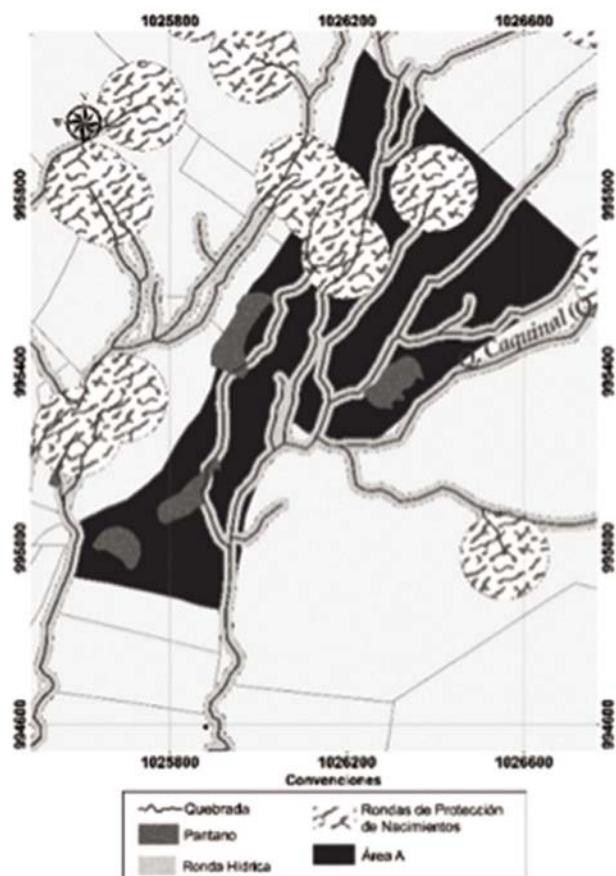


Figura 3. Predio de alta importancia

Predio de moderada importancia

Tabla 5. Características del predio clasificado de Moderada Importancia

AREA B

Se considera de moderada importancia por la presencia de un pantano el cual contribuye con la regulación hídrica; al no ser atravesado por cuerpos de agua no se le considera de importancia alta pero sí que tiene potencial para llegar a ser conservado. Figura 4. Debido a la unidad de suelo presente en esta área, se recomienda la implementación de sistemas de potreros arbolados, ya que se puede llegar a originar procesos de remoción en masa, debido a la susceptibilidad que tienen estos a sufrir ese fenómeno.



Figura 4. Predio de moderada importancia

Predio de baja importancia

Tabla 6. Características del predio clasificado de Baja Importancia

AREA C

El predio no cuenta con cuerpos de agua que influyan en la regulación hídrica. Figura 5. Se ubica en una unidad de suelos que tiene capacidad para utilizarse en ganadería extensiva con pastos naturales, asociada con actividades de agroforestería o para bosques protectores-productores con labores de entresaca controladas o para regeneración espontánea de la vegetación.

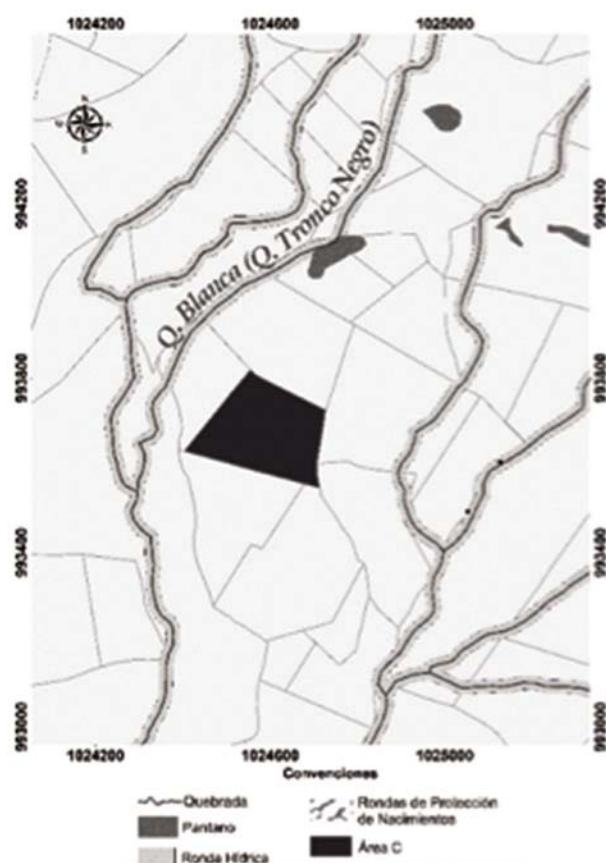


Figura 5. Predio de baja importancia

Validación de la metodología en la microcuenca del río Caquinal

A partir de la aplicación de la metodología propuesta se definieron en total 21 áreas de especial importancia para la conservación y preservación del recurso hídrico, ubicadas en la cuenca alta del río Caquinal, estas suman 921,58 hectáreas, es decir que corresponden al 51,62% del área de la cuenca alta y al 18,46% del área total de la cuenca social. De los 21 predios, 7 son áreas protegidas y se encuentran en estado de rehabilitación natural, estas son propiedad de entidades gubernamentales o han sido declaradas reservas de la sociedad civil.

Es importante reconocer las potencialidades naturales que tiene el territorio como fortaleza en la recuperación y restauración de las áreas de recargas hídricas superficiales, que contribuirán en el mediano y largo plazo a la regulación de los caudales del río Caquinal. Las áreas naturales encontradas con alto valor ambiental son los pantanos, las rondas hídricas de cauces y los nacimientos de agua. Estas áreas contribuyen a mantener la conectividad en el sistema de cuenca y ayudan a mantener los niveles de agua en los cuerpos de agua gracias a la regulación hídrica otorgada por las características naturales que los caracterizan como el tipo de suelo, la vegetación y su capacidad de retención de agua.

Es necesario aunar el mayor número de esfuerzos técnicos y económicos para hacer frente a la dinámica que se viene presentando en la cuenca alta, para establecer posibles soluciones de amortización y mitigación de impactos que se hayan generado en los ecosistemas de regulación hídrica aguas arriba; así como trabajar en la prevención de futuras alteraciones no convenientes para el sistema natural, proceso que deberá ir de la mano con la concienciación y conocimiento de la comunidad de la región sobre la importancia de estas áreas para las generaciones venideras.

Será vital acordar con los propietarios de los predios, la definición de zonas de reforestación

e incluso aplicar a incentivos económicos que se promueven desde organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, para impulsar la sostenibilidad, la re-vegetalización y la protección de estas áreas.

Dada la naturaleza cualitativa de la metodología expuesta, no se incluyeron variables de orden cuantitativo, por lo cual el modelamiento de caudales y su comportamiento en el tiempo no hace parte del alcance de la investigación realizada.

Discusión y Conclusiones

La selección de áreas estratégicas, está relacionada con todos los elementos que componen una cuenca, por lo cual su evaluación no debe hacerse de manera apresurada y bajo un solo enfoque, sino que por el contrario debe incluir la mayor cantidad de variables posibles y objetivas que permitan reconocer las debilidades y fortalezas del sistema. La priorización de áreas a pesar de que se realiza en un lugar específico debe reconocer las características de toda la cuenca.

Estos procesos de priorización de áreas no sólo deben considerar las variables físico-ambientales, sino que también deben estar ligados a la memoria histórica y al valor que la comunidad le da a los lugares, como por ejemplo, dónde nace el agua que llega a sus predios, sabiendo que detrás de cada área existe todo un legado relacionado con las personas que han vivido o trabajado allí, elementos que no se pueden reconocer si no hay acercamiento a las comunidades y trabajo conjunto con ellas para la formulación y ejecución de un proyecto.

La importancia de priorizar áreas, en términos generales, puede clasificarse como de carácter técnico y de carácter social, siendo la primera más factible de cuantificar en términos físicos y funcionales, por ejemplo en pérdidas potenciales referidas a los daños que pueden sufrir los recursos o la interrupción de los servicios, a diferencia de la

segunda, que prácticamente sólo puede valorarse cualitativamente y en forma relativa, debido a que está relacionado con aspectos económicos, educativos, culturales, ideológicos, etc.

La cuenca del río Caquinal cuenta con fortalezas sociales, ya que a través de los años la comunidad se ha organizado en torno a la gestión del recurso hídrico, sin embargo, será necesario tomar medidas serias frente a temas relacionados con el uso racional del agua y la aplicación de tecnologías apropiadas a los procesos productivos que se desarrollan en esta zona. Siendo importante fortalecer la articulación de la parte alta, media y baja de la cuenca, desde el propio reconocimiento, apropiación y capacidad asociativa en torno a la gestión del recurso hídrico. Por esta razón, fueron de gran ayuda todos los aportes realizados a esta investigación por parte de la comunidad, su apoyo e interés permanente por los resultados obtenidos.

Si bien la metodología propuesta se validó para un contexto en particular, se espera pueda ser utilizada en otros casos y con diferentes enfoques donde se busquen beneficios tanto para el sistema natural como para el sistema social, reconociendo que este último fortalece toda iniciativa que se quiera llevar a cabo. La metodología desarrollada constituye una herramienta para la toma de decisiones en la protección de cuencas hidrográficas.

Literatura citada

1. ASOCAQUINAL. (2010). Acta de constitución, aprobación de estatutos y elección de dignatarios y órganos de fiscalización. Fomeque, Cundinamarca: Archivo ASOCAQUINAL.
2. Chow, V. T. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.
3. CORPOGUAVIO. (2 de Diciembre de 2005). Diagnóstico y plan de ordenamiento y manejo de las áreas de drenaje de los ríos Blanco, Negro y Guatiquia en Fomeque y Río Blanco en Guasca, Fase de diagnóstico, prospectiva y formulación.
4. CORPOGUAVIO. (10 de Junio de 2011). Resolucion 345 de 2011.
5. Deeb, A. (1992). Estimación y cuantificación económica de algunas externalidades en proyectos de manejo de microcuencas. Banco Interamericano de desarrollo.
6. Dostal, C. B. (2007). Delimitación empírica de áreas prioritarias para el manejo del recurso hídrico en Costa Rica, 86(2), 39–49.
7. ESRI. (2010). ArcGIS Desktop. Redlands, California.
8. Estatutos ASOCAQUINAL. (2010). Foméque, Cundinamarca.
9. Goodman, L. A. (1961). Snowball Sampling. (I. f. Princeton University, Ed.) *Journal Annals of Mathematics*.
10. Gravelius, H. (1941). Flusskunde. Goschen'sche Verlagshandlung.
11. Gobernación de Cundinamarca. (2000). Mapa Base del Municipio de Fómeque
12. Gutiérrez-Malaxechebarria, A., & Diaz-Granados, M. (2007). Valoración de Impactos y Evaluación Económica en Proyectos de Rehabilitación de Cuencas. Caso cuenca río Tona. Avances En Recursos Hidráulicos, (15), 3–10.
13. Horton, R. E. (1932). Drainage basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union*(13), 350–361.
14. Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America.
15. IGAC. (1995). Plancha Cartográfica 247-I-B-1 Escala 1:10.000.
16. Newton, A. y. (2011). Principios y práctica de la restauración del paisaje forestal: Estudios de caso en las zonas secas de América Latina. Union Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) y Madrid, España: Fundación Internacional para la Restauración de Ecosistemas, Gland, Suiza.
17. Restrepo, F. C. (2005). Valoración económica de ecosistemas estratégicos asociados a fuentes hídricas que abastecen acueductos veredales. Semestre Económico, 9.
18. Servicio Geológico Colombiano (SGC). (2000). Plancha geológica 247 escala 1:100.000.
19. Universidad Nacional de Colombia. (2000). Esquema de Ordenamiento Territorial. Municipios Jurisdicción CORPOGUAVIO. Técnico, Ciencias Económicas. Centro de Investigación para el desarrollo, Fómeque.
20. Zúñiga Palma, H. (2008). Hagamos el ordenamiento territorial del sector rural de nuestro municipio. Bogotá.
21. Zuñiga Palma, H. (2010). Valoración apropiada de la permeabilidad del suelo calidad importante en la determinación de la erosionabilidad del territorio. Bogotá.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

| Recibido: 8 de septiembre de 2014
Aceptado: 14 de octubre de 2014

Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba

Socio-cultural projects as an alternative to the endogenous development of two communities of Puerto Padre, Cuba

Projetos socioculturais como uma alternativa para o desenvolvimento endógeno de duas comunidades de Puerto Padre, Cuba.

Idis Parra Batista¹, Ramona Altabás-Jorge² & Iliria Muchuly Cabrera³

¹Licenciada en Educación. Especialidad Español – Literatura, Magister en Desarrollo Cultural.

²Licenciada en Educación en la especialidad de Español-Literatura. Especialista en Postgrado de la Educación Superior. ³Licenciada en Educación en la especialidad de Español-Literatura

^{1, 2}Universidad Vladimir Ilich Lenin. Las Tunas. ³Universidad de Oriente. Santiago de Cuba.

^{1, 2, 3}Ministerio de Educación Superior. Cuba.

¹idispb@ult.edu.cu, ²ramonaaj@ult.edu.cu, ³lily@fch.uo.edu.cu

Resumen

La presente investigación se realizó con el objetivo de demostrar la pertinencia de los proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo cultural endógeno de las comunidades Boquerón e Itabo, de Puerto Padre, Las Tunas, Cuba, cómo los mismos propician el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes de las referidas comunidades; el impacto sociocultural y medioambiental de éstos en el territorio. Para ello se tomaron como referencia tres proyectos “Boquerón, un espacio azul para la cultura”, “Flor de Itabo” y “Dinamización de las comunidades Boquerón e Itabo”, ejecutados durante el período 2009-2013. Se muestran fundamentos teóricos y prácticos de la lógica investigativa seguida. Se utilizaron métodos del nivel teórico y empírico; así como indicadores cuantitativos y cualitativos para medir los resultados obtenidos. Entre los principales resultados se destacan: potencian espacios de participación, en igualdad de

derechos para mujeres y hombres, en actividades socioculturales en defensa de la cultura y la identidad; fortalecen las capacidades de gestión de los actores comunitarios y municipales involucrados, en la experiencia; así como, las capacidades productivas locales, sobre la base de una cultura ecológica y ambientalmente responsable; desarrollan una cultura ambiental que promueve el rescate de tradiciones, una vida sana en armonía con el entorno local, desde la perspectiva de equidad de género y .posibilitan, desde su concepción, que todo el proceso pueda ser monitoreado, coordinado y evaluado debidamente. Estos resultados constituyen la muestra fehaciente de las transformaciones experimentadas en las referidas comunidades a partir de la ejecución de estos proyectos.

Palabras clave: proyectos socioculturales, desarrollo cultural, calidad de vida.

Abstract

This research was carried out with the aim of demonstrating the relevance of the socio-cultural projects as an alternative to the endogenous cultural development of communities Boqueron and Itabo, of Puerto Padre, Las Tunas, Cuba, the manner how they improvement of the quality of life of the inhabitants of the communities concerned; and the socio-cultural and environmental impact on the territory. To this end were taken as reference three projects “Boqueron, blue space for culture”, “Flor de Itabo” and “Revitalization of anchovy and Itabo communities”, implemented during the period 2009-2013. Theoretical and practical bases of research followed logic are shown. Methods of theoretical and empirical level were used; as well as quantitative and qualitative indicators to measure the results. Among the main results found: enhance participation spaces, in equal rights for women and men, in socio-cultural activities in defense of the culture and identity; strengthen the management capacities of municipal and community stakeholders involved in the experience; as well as, local productive capacities, on the basis of an ecological and environmentally responsible culture; develop an environmental culture that promotes the recovery of traditions, a healthy life in harmony with the local environment, from the perspective of gender equity and allow, since its inception, that the whole process can be monitored, coordinated and evaluated properly. These findings constitute irrefutable sign of the changes experienced in the concerned communities from the implementation of these projects.

Key-words: socio-cultural project, culture development, life quality.

Resumo

Esta pesquisa foi realizada, a fim de demonstrar a relevância dos projetos socioculturais como alternativa para o desenvolvimento cultural endógeno do Boqueron e Itabo de Puerto Padre, Las Tunas, comunidades Cuba. Os mesmos promovem a melhoria da qualidade de vida dos habitantes das referidas comunidades; bem como o impacto sócio-cultural e ambiental destes no território. Para fazer isso, foram tomados como referência três projetos “Boqueron, um espaço azul para a cultura”, “Flor de Itabo” e “Revitalização das comunidades Boqueron e Itabo”, executados durante o período 2009-2013. Mostrando fundamentos teóricos práticos, e na lógica de pesquisa. Foram usadas as metodologias tanto teórica como empírica, o que tornou possível implantar indicadores quantitativos e qualitativos para medir os resultados. Os principais resultados foram: aumentar as oportunidades de participação, em igualdade de direitos entre mulheres e homens em atividades sociais e culturais em defesa da cultura e identidade. Isso fortalece a capacidade da comunidade para gerenciar, e também as partes municipais interessadas; tanto na experiência própria, assim como na capacidade de produção local, com base em uma cultura ecológica e ambientalmente responsável; desenvolver uma cultura ambiental que promove o resgate das tradições, vida saudável, em harmonia com o meio ambiente local, a partir da perspectiva da igualdade de gênero. Permitindo desde a sua criação, o monitoramento de todo o processo, coordenado e devidamente avaliado. Estes resultados são o verdadeiro exemplo das transformações nas comunidades acima mencionadas a partir da implementação destes projetos.

Palavras-chave: projetos socio-culturais, desenvolvimento cultural, qualidade de vida.

Introducción

Cuba se encuentra inmersa en el fortalecimiento y preservación de la cultura nacional como escudo ideológico para la conservación, revitalización, enriquecimiento y difusión de la identidad nacional.

En el pueblo cubano “Se ha acentuado mucho más la conciencia del impresionante poder de la cultura” (Macías, 2013: 4), por lo que el país, dadas las características del cambiante panorama cultural del mundo actual, se empeña en buscar alternativas que contribuyan a favorecer el protagonismo de las comunidades en el desarrollo cultural.

“El trabajo sociocultural comunitario en Cuba tiene, desde su concepción, la intención de lograr el desarrollo armónico de las comunidades, de manera que se fortalece el trabajo cohesionado, y se aprovechan las potencialidades de la comunidad, a partir del principio endógeno que significa trabajar con la comunidad desde la comunidad y para la comunidad, como un mecanismo más de la misma” (Macías, 2013: 4).

“La intervención sociocultural con énfasis en el autodesarrollo comunitario, implica la necesidad de actuar en las comunidades para favorecer la consolidación del progreso y el protagonismo sociocultural consciente de dichas comunidades” (Martínez, 2007: 3). Para lograr este propósito, hay que tener bien presente la estrecha relación que existe entre trabajo comunitario y desarrollo cultural, que se sustenta sobre una base científica y en correspondencia con las particularidades de cada comunidad (Macías, 2013: 6) . La premura en la búsqueda de soluciones a los problemas existentes, no debe obviarlo.

Sin embargo, “se han planificado, y diseñado intervenciones comunitarias para promover y animar la participación de los pobladores, en el complejo proceso de su autodesarrollo, sin un análisis teórico científico del proceso de desarrollo, de su complejidad social y de la necesidad de sus adecuaciones a las características de la comunidad”. (García, 2009: 66).

Queda claro que no bastan las buenas intenciones, se precisa articular los saberes de los estudiantes del tema y de la aplicación de las herramientas que brindan las ciencias para proponer soluciones que den al traste con obstáculos que frenan el desarrollo endógeno de las comunidades. “El desarrollo de la comunidad es un complejo proceso dirigido a provocar cambios en los espacios locales, a favor del bienestar de los ciudadanos. Supone la participación sustantiva de éstos junto a las autoridades, para que se constituyan en agentes activos y responsables de su propio progreso” (Rayza, 2009:12).

La participación protagónica de los diferentes actores sociales en este proceso, permite una integración mucho más sistémica con los restantes procesos y potencia el papel y lugar de la comunidad. En este mismo sentido, Macías (2013: 6) considera que “El desarrollo cultural se ajusta a las condiciones sociales, económicas, políticas y culturales de cada comunidad, asume al hombre como sujeto y objeto del desarrollo cultural, bajo el principio de equidad el fomento de la participación y la creatividad, y se basa en un proyecto de futuro ajustado a las capacidades, posibilidades y potencialidades existentes”.

Esta autora (2013:7), es del acertado criterio de que “Para la implementación de los proyectos de desarrollo, particularmente los de desarrollo cultural, se deben considerar las diferencias existentes entre un barrio con identidad propia y los Consejos Populares, o lo que es lo mismo, la comunidad formal y comunidad natural”; que, deben partir de un diagnóstico participativo, según las fortalezas, oportunidades, amenazas y debilidades, de la comunidad y evaluar periódicamente sus resultados.

Según Moreno (2006: 3) “Es propio de estos proyectos organizar y movilizar a la comunidad en torno de un asunto o tema de bien público, estimular la toma de decisiones, dar respuesta a las necesidades propias de la comunidad...tienen

como rasgo distintivo contribuir al mejoramiento de la calidad de vida...”. En tanto, Carrera (2010: 13), señala en el trabajo “La gestión de proyectos socioculturales. Una aproximación desde sus dimensiones”, que los proyectos socioculturales constituyen un tipo particular de proyecto que se reconoce por sus intencionalidades, comprometidas con una transformación desde, con y para las esencias humanas, en sus métodos de concreción y en la trascendencia de sus resultados; que poseen un carácter eminentemente endógeno, considerando el reconocimiento del protagonismo que corresponde a quienes resultan beneficiarios, cuyas fortalezas y oportunidades se ponen en función de resolver carencias y amenazas, a partir de la movilización de sus propios saberes y recursos, como vías para lograr la sostenibilidad.

Teniendo en cuenta los criterios abordados, las autoras de la presente investigación consideran que, los proyectos socioculturales, científicamente fundamentados, constituyen un eficaz instrumento para desarrollar el trabajo comunitario; ya que a partir de las características que distinguen a la comunidad, de los intereses y las necesidades culturales que poseen, del sentido de pertenencia e identidad, propician el desarrollo cultural endógeno de las comunidades, y un gran impacto sociocultural y medio ambiental en el territorio donde se encuentran enclavadas las comunidades.

Así lo corroboran los tres proyectos que se ejecutan en la ciudad de Puerto Padre, en Las Tunas: “Boquerón, un espacio azul para la cultura”, “Flor de Itabo” y “Dinamización sociocultural de las comunidades Boquerón e Itabo”; los cuales han logrado el objetivo general que los sustenta: contribuir al mejoramiento de los niveles de calidad de vida de la comunidad, mediante el desarrollo comunitario, desde la perspectiva sociocultural y con enfoque de género inclusivo; a la vez que le han dado cumplimiento de sus objetivos específicos: potenciar los espacios de participación en igualdad de derechos para mujeres y hombres, en actividades socioculturales en defensa de la cultura, la identidad y el medio ambiente, y capacitar a mujeres y hombres como agentes

facilitadores de la transformación social. Estos proyectos, por sus manifiestos resultados, se han convertido en referencia para otras investigaciones sobre desarrollo cultural endógeno comunitario.

Materiales y métodos

En esta investigación se aplica la complementariedad metodológica, a partir de una combinación armónica de diferentes perspectivas, cuyo abordaje se realiza fundamentalmente desde la Antropología Cultural, como ciencia básica, que considera al hombre como centro del desarrollo sociocultural comunitario y propicia la búsqueda de alternativas que contribuyan a la transformación y el mejoramiento del hábitat y de los niveles de calidad de vida, así como desde la Sociología que permite un tratamiento adecuado de las leyes del desarrollo acerca de la sociedad, lo que propicia profundizar en el estudio de las comunidades, conocer sus principales prácticas culturales, costumbres, relaciones entre sí y con los demás, los procesos de cambio en que han estado inmersas, entender los fenómenos que han entorpecido o acelerado su desarrollo cultural y proyectar acciones prácticas en la investigación para satisfacer las necesidades culturales más sentidas.

Para el desarrollo de la investigación se utilizaron diferentes métodos y técnicas, entre los que se destacan:

- Histórico-lógico: permitió identificar la evolución histórica y lógica del desarrollo de la génesis del proceso de formación y desarrollo de la cultura ambiental y su gestión en las comunidades.
- Análisis y síntesis: para caracterizar los procesos estudiados, al transitar de las partes al todo y viceversa, descubrir sus características generales y las relaciones esenciales entre ellas, así como arribar a conclusiones. Desempeña un papel importante en el proceso cognoscitivo del objeto de investigación relacionado con la coordinación del trabajo sociocultural comunitario.

- Inducción y deducción: propició razonar de forma lógica en relación con el objeto y campo de acción de la investigación, al transitar de elementos generales que caracterizan al proceso de transformación y desarrollo endógeno sociocultural, al caso particular de su gestión en las comunidades y viceversa, arribando a proposiciones generales y específicas para el desarrollo de estos procesos.
 - Observación científica: se utilizó fundamentalmente la observación directa y participante para caracterizar la situación actual que presentan los procesos objeto y campo de la investigación en las comunidades analizadas. Este método posibilitó la integración de los investigadores a la vida social comunitaria, diseñar y emplear instrumentos que van más allá de la información visual.
 - Consulta a especialistas: soportada en una entrevista y en una encuesta que se aplicó a diez especialistas para valorar la viabilidad y pertinencia de los proyectos socioculturales que se ejecutan en estas comunidades puertopadrenses.
 - Análisis crítico de las fuentes: permitió consultar diferentes fuentes bibliográficas de las cuales se asumieron criterios, definiciones, aspectos, a partir de los cuales se desarrolla la fundamentación teórica y metodológica.
 - Entrevistas (enfocada y en profundidad), las encuestas, completamiento de frases y diez deseos, posibilitaron la recogida de información general y específica en relación con la temática investigada, las que permitieron conocer cómo piensan, sienten y actúan los comunitarios, y la técnica de las nueve cuestiones, aplicadas a los Grupos de trabajo Comunitario, que permitió valorar la factibilidad y pertinencia de los proyectos que se ejecutan en sus comunidades; mientras, la matriz DAFO posibilitó enriquecer el diagnóstico integral de las comunidades analizadas.
 - Revisión de documentos: Informes de evaluación de las actividades realizadas, actas de las reuniones mensuales del Grupo Gestor, memorias de los diferentes talleres, listado de participantes en los talleres, cursos de capacitación e intercambios de experiencias con otros proyectos de la provincia Las Tunas, entre otros.
- En la aplicación de las diferentes técnicas, se tuvo en cuenta el muestreo aleatorio simple, para lo que se selecciona más del 50 % de la población residente en las comunidades Boquerón e Itabo y una representación del personal que labora en los diferentes centros e instituciones culturales radicadas en las mismas.
- El objetivo principal de esta investigación fue demostrar la pertinencia de los proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de las comunidades Boquerón e Itabo. Para validar los resultados obtenidos se hizo un análisis de los objetivos específicos que perseguían dinamizar la vida sociocultural, productiva y medioambiental de la población de estas comunidades, y de los indicadores del grado de consecución de los objetivos específicos y de las actividades planificadas.

Resultados

1. Una mirada a las comunidades Boquerón e Itabo antes de la ejecución de los proyectos

La comunidad costera Boquerón, se ubica en la parte noroeste de la ciudad de Puerto Padre; según los datos actualizados de la Dirección municipal de Planificación Física, el área total equivale a 256 435.9 m². Itabo, por su parte, se ubica al suroeste, cuenta con un área de 248 322, 4 m².

La población de estas dos comunidades está distribuida como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Distribución de la población de las comunidades Boquerón e Itabo

Población	Mujeres	Hombres	Total	De ellos, Niños
Boquerón	1366	1565	2931	502
Itabo	775	815	1590	350
Total	2141	2380	4521	852

Debilidades

Ambas comunidades mostraban un gran deterioro sociocultural, con altos índices de alcoholismo, violencia familiar, prostitución, entre otros antivalores que se acentuaron durante la década del noventa, en el llamado Período Especial, además era escasa la programación y la promoción de actividades culturales y recreativas y abundante la desmotivación para participar en las que allí se desarrollaban; existían áreas con una extensión promedio de más de 800 m², tanto de propiedad privada como estatal, en algunas de las cuales la población de manera irresponsable vierte todo tipo de desechos por lo que constituyen focos de contaminación ambiental, además de dar una mala imagen del entorno, lo que evidencia que prácticamente ninguno de sus pobladores se interesaba por la protección al medio ambiente, que no poseían cultura ambiental; no implementaban la agricultura urbana, los Grupos de Trabajo Comunitario (GTC) no funcionaban debidamente, ni tenían idea de lo que es un proyecto sociocultural.

Fortalezas

En ambas comunidades están constituidos los GTC, cuentan con un Promotor Cultural, con una escuela primaria en su radio de acción, con organizaciones de masas; existen líderes naturales que con su accionar motivan a otros y aficionados a diferentes manifestaciones artísticas como la música y el teatro; así como, arraigadas costumbres culinarias y religiosas.

2. Una nueva mirada a las comunidades Boquerón e Itabo, seis años después de la ejecución de los proyectos

Los proyectos “Boquerón, un espacio azul para la cultura” y “Flor de Itabo”, con siete años de ejecución y “Dinamización de la vida sociocultural de las comunidades Boquerón e Itabo”, con 3 años de ejecución, en el municipio Puerto Padre, Las Tunas, Cuba, han propiciado el desarrollo cultural endógeno de estas comunidades, cuya población ha crecido, según datos actualizados en el Censo de Población y Vivienda recientemente realizado. Ahora tienen un total de 4723 habitantes, de los cuales 452 son niños (este sector etario decrece), 2246 son mujeres y 2477 son hombres. De ellos, 26 son miembros del Grupo Gestor (GG), 13 de cada comunidad. Las investigadoras pudieron constatar que estos proyectos se desarrollan en el marco de un proceso participativo, tanto en la conformación de los GG, como en la planificación de las actividades y la toma de decisiones, se tiene en cuenta la participación equitativa de hombres y mujeres.

Los resultados se midieron a través de indicadores del desarrollo cultural tales como índices de participación comprometida y progreso cultural, reflejados en el desarrollo de actividades en defensa de la cultura popular tradicional y medioambiental, el empleo del tiempo libre en actividades deportivas y recreativas, cursos de capacitación recibidos, con evidentes cambios en los modos de actuación,

sobretodo en el cuidado y protección del medio ambiente. Se analizaron los indicadores del grado de consecución de los Resultados y de las actividades planificadas en los proyectos (Tabla 2).

Tabla 2. Principales Resultados en las comunidades de Boquerón e Itabo

RESULTADOS (R)	BOQUERÓN	ITABO
R.1 Potenciados espacios de participación, en igualdad de derechos para mujeres y hombres, en actividades socioculturales en defensa de la cultura y la identidad.	El 58% de la población beneficiaria satisface sus necesidades de esparcimiento y recreación El 70% de la población infantil dispone de espacios culturales y de creación. El 40% de las mujeres y los hombres de la población beneficiaria participan, de manera comprometida, en actividades del proyecto.	El 54% de la población beneficiaria satisface sus necesidades de esparcimiento y recreación El 70% de la población infantil dispone de espacios culturales y de creación. El 40% de las mujeres y los hombres de la población beneficiaria participan, de manera comprometida, en actividades del proyecto.
R.2 Fortalecidas las capacidades de gestión de los actores comunitarios y municipales involucrados en la experiencia.	El 100% de los miembros del GG han desarrollado capacidades de gestión a través de cursos, talleres y conferencias. El 100% de las instituciones de la zona se integran a los proyectos.	El 80% de los miembros del GG han desarrollado capacidades de gestión a través de cursos, talleres y conferencias. El 96% de las instituciones de la zona se integran a los proyectos.
R.3 Fortalecidas las capacidades productivas locales, sobre la base de una cultura ecológica y ambientalmente responsable.	El 90% de los productores de los patios de referencia han recibido conferencias sobre producción y utilización de abonos orgánicos El 90% de los productores de los patios de referencia han recibido cursos y talleres sobre agricultura urbana	El 90% de los productores de los patios de referencia han recibido conferencias sobre la importancia de la producción y utilización de abonos orgánicos El 90% de los productores de los patios de referencia han recibido cursos y talleres sobre agricultura urbana
R.4 Desarrollada una cultura ambiental que promueva el rescate de tradiciones, una vida sana en armonía con el entorno local y el rescate del litoral, desde la perspectiva de equidad de género.	El 50% de la superficie de la comunidad se mantiene higienizada y recuperada. El 40% de los hombres y las mujeres participa activamente en labores de reforestación El 30% de los hombres y las mujeres participa en eventos de cocina tradicional	El 50% de la superficie de la comunidad se mantiene higienizada y recuperada. El 40% de los hombres y mujeres participa activamente en labores de reforestación El 30% de los hombres y las mujeres participa en eventos de cocina tradicional
R.5 Monitoreado, coordinado y evaluado debidamente el proyecto.	El 70% de la población encuestada dice sentirse satisfecha con las actividades desarrolladas	El 70% de la población encuestada dice sentirse satisfecha con las actividades desarrolladas

Importancia de los Resultados, beneficios que reportan para las comunidades

R.1. Se crearon espacios que propician la participación comprometida, en igualdad de derechos para mujeres y hombres, en actividades socioculturales en defensa de la cultura y la identidad.

Se acondicionó el Círculo Social del Itabo y se construyó un ranchón Cultural en Boquerón. Se han realizado 14 talleres (de 10 planificados) de creación artística: de tejeduría, de bordado, de plástica, de literatura, de dibujo, de confección de calzado, de talla en madera, de magia, entre otros. Las obras de estos creadores han sido expuestas en actividades conmemorativas, mostradas a los visitantes y, algunas de ellas, donadas para premios de concursos como la Sirena Azul, y el Festival del Creador Musical Villa de los Molinos, en la Jornada de la cultura puertopadrense. Seis de los artesanos se desempeñan como cuentapropistas, que es una nueva forma de empleo. De las 20 actividades artísticas, culturales y recreativas, previstas se han realizado más de 100. Entre ellas sobresalen: las Peñas Literarias, el Rincón mexicano, la Peña de Sandra, el Encuentro con los recuerdos, los planes de la calle en coordinación con el INDER y el círculo de abuelos. De este último se realizó un video que habla de la satisfacción que sienten los boqueroneros con las actividades que realizan. Se desarrolló la séptima edición de la Fiesta del Mar (en Boquerón) y la cuarta de la Fiesta del Árbol (en Itabo), evento aglutinador y espacio para mostrar los resultados del proyecto, acción abarcadora, recreativa y cultural, que aglutina a todos los actores, instituciones y vecinos, en una fiesta sin precedentes por su riqueza de matices y por los aportes espirituales que suscita. Dentro de estas fiestas se desarrollan exposiciones, concursos culinarios y de poesía, desfile de congas y carrozas, y un espectáculo cultural que concluye con un bailable. Se han formado nuevos valores artísticos: creación del grupo musical Son del Boquerón, de un grupo de danza con pioneros de la escuela primaria Hermanos Lara, un grupo de teatro con alumnos de la Cátedra del Adulto

Mayor. Se han realizado seis intercambios de experiencias, con proyectos como El callejón de la Ceiba, de Las Tunas, Guardianes del tiempo, de la localidad de Delicias, Norte Sur de Las Tunas, entre otros. La Casa Biblioteca de Boquerón pasó a ser Centro de Información Comunitaria y cuenta con la colaboración de la biblioteca municipal Carlos Manuel de Céspedes y de la Biblioteca Nacional José Martí, de la cual recibió una importan-tísima donación.

Se ha recibido la visita de Miguel Barnet, Presidente Nacional de la UNEAC, quien publicó en el periódico Granma, Órgano Oficial de la república de Cuba, una crónica de su paso por Boquerón e Itabo; de Nancy Morejón, Guido López Gavilán, Hernán Muza, destacados intelectuales cubanos, así como de figuras del mundo del arte a nivel nacional e internacional. Se creó un Boletín Informativo sobre la cotidianidad y el cuidado del medio ambiente, en el que se publican obras de los poetas de estas comunidades.

R.2. Los actores comunitarios y municipales involucrados en la experiencia han fortalecido las capacidades de gestión:

De los 26 miembros de los GG, 23 han sido capacitados en cursos y talleres tales como: Gestión de Proyectos, Facilitación Grupal, Coordinación y Procesos de Concertación para la Gestión Pública Local, lo que permite un mejor desempeño en sus funciones, revertido en calidad de las actividades que se realizan.

Se han desarrollado 6 talleres sobre Enfoque de Género y otras acciones tendientes a la equidad entre hombres y mujeres, con los que se favorece el empoderamiento de la mujer y se disminuyen las posturas machistas.

Se integran diferentes factores sociales, políticos, de masas y culturales con la constitución de la Asociación de Asociaciones que integra a la ACLIFIM (Asociación Cubana de Limitados Físicos Motores), la ANSOC, (Asociación Nacional de

Sordos) la ANCI, (Asociación Nacional de Ciegos y Débiles visuales), Asociación de Colombófilos y la ACRC (Asociación de Combatientes de la Revolución Cubana).

Se desarrollan talleres y charlas, por especialistas de salud pública, sobre prevención de la TB, las ITS y el VIH SIDA a los miembros del GG y a sectores vulnerables de la comunidad con el fin de educar y prevenir enfermedades.

R.3. Las capacidades productivas locales, sobre la base de una cultura ecológica y ambientalmente responsable, se han fortalecido:

De 10 Patios de Referencia previstos, se han creado 28, de ellos 16 en Boquerón y 12 en Itabo.

Se crearon dos fuentes de empleo. Con la adquisición de equipos de audio (1 para cada comunidad) dos jóvenes que estaban desvinculados del estudio y el trabajo, laboran como operadores de audio.

Se creó un organopónico en Itabo y se fomenta el movimiento de patios comunitarios para la producción de hortalizas y vegetales.

Se han desarrollado dos talleres de capacitación para productores (hombres y mujeres) en técnicas de producción orgánica y de ciclo integrado, y dos sobre uso de abonos orgánicos.

R.4. La cultura ambiental, desde la perspectiva de equidad de género, que van adquiriendo los comunitarios promueve el rescate de tradiciones, el cuidado del litoral y del medioambiente en general, lo que permite una vida saludable en armonía con el entorno local.

Para el logro de una cultura ambiental responsable en ambas zonas se acometen acciones de higienización y educación ambiental. En el Itabo se está creando un bosque de árboles frutales y maderables y se trabaja por preservar la medicina tradicional. En el Boquerón, se reforesta el manglar, se creó una brigada encargada de mantener

limpio el litoral y un Círculo de interés “Los niños y el medio ambiente”, se realiza con sistematicidad la limpieza e higienización de los micro vertederos; donde otrora existiera un basurero, hoy los jóvenes construyeron un área de voleibol de playa. Se rescataron dos atracaderos, y volvió al Boquerón el área de cuidado de las embarcaciones pesqueras.

Se muestran videos realizados por aficionados del barrio donde se explica la necesidad de conservar la orilla del mar. Se ha controlado la extracción indiscriminada de arena.

Se desarrollan eventos culinarios donde se profundiza en la cocina tradicional. Anualmente se efectúa el concurso “Mi cocina marinera” en el que intervienen como jurado los miembros de la Asociación Culinaria. Boquerón ha sido subsede del evento internacional de cocina Coboazul; y en dos ocasiones del Taller Internacional de Comunidades Rurales (COMUR), que auspicia la Universidad de Las Tunas. Obtuvo segundo premio en el evento regional del CIERIC y premio especial por el enfoque de género. Los resultados de estos proyectos han sido socializados en eventos tales como: “I Conferencia Territorial: Medio Ambiente y Desarrollo Local”, “II Taller regional Ciencia, Tecnología y Sociedad al Servicio de la Comunidad”. “I y II Taller La Educación Superior y su Gestión Integradora”. Con investigaciones derivadas de éstos se han obtenido premios como el “Relevante en XVI Forum Provincial de Ciencia y Técnica”.

R.5. Los monitoreos, las coordinaciones y las evaluaciones debidamente realizadas a los proyectos brindan fuentes para verificar los resultados.

Se han efectuados seis monitoreos, consistentes en el análisis pormenorizado de los objetivos, de las actividades planificadas y de los resultados obtenidos en cada proyecto; así como, del control de los recursos con que se cuenta y la marcha de la ejecución del presupuesto asignado. Estos monitores permiten corregir y rediseñar acciones,

que no haya desvío de recursos y que el presupuesto se ejecute de la manera prevista. Se levantan actas y se guardan en el archivo del proyecto.

En las seis reuniones de coordinación y seguimiento se recogen las experiencias vividas durante el año, se realiza la sistematización, a partir de la reflexión conjunta, analizando lo logrado y el nivel de satisfacción de los participantes.

La evaluación se asume como un proceso, para su concreción se realizan chequeos trimestrales sobre el cumplimiento de las actividades planificadas, con énfasis en la visualización de los logros alcanzados y la detección de las principales insuficiencias y deficiencias en su ejecución. Semestralmente se realizará un taller de reflexión y debate, cuyas opiniones se recogen de forma escrita, las que además de permitir la determinación y corrección de desviaciones y errores, sirven para la elaboración del plan de mejoras y como evidencias de las evaluaciones parciales.

La evaluación anual se realiza teniendo en cuenta las evaluaciones parciales y el cumplimiento del plan de mejoras. En la evaluación de cada año los resultados han sido satisfactorios y halagadores; así consta en las actas levantadas a tales efectos.

Discusión

Se tomaron como referencia varias investigaciones realizadas en la provincia Las Tunas que abordan la temática sociocultural y medio ambiental, entre las que se destacan: Estrategia para el desarrollo de la cultura ambiental en la comunidad de San José, Montes de Oca, (Ruiz, 2008), autor que aporta una estrategia para desarrollar la cultura ambiental en una comunidad periférica de la ciudad de Las Tunas; Gestión medio ambiental en la zona costera de la playa La Llanita, municipio de Puerto Padre, (Infante, et.al., 2014); “Proyecto de Animación sociocultural Florecer, de la comunidad Alba Flores del municipio Colombia, Las Tunas”, (García, 2009), resultado de su tesis de Maestría en Desarrollo Cultural; Impacto medioambiental del

proyecto “Boquerón, un espacio azul para la cultura”, en el municipio Puerto Padre, (Parra, et.al., 2015) que refleja cómo a partir de este proyecto se han podido mejorar los niveles de calidad de vida, el entorno sociocultural y la participación activa de los habitantes de esa comunidad costera en la autogestión del desarrollo cultural, con evidentes cambios en sus modos de actuación; y el Proyecto cultural para preservar la cultura popular tradicional en la comunidad de Velazco, (Álvarez, 2012).

Estas investigaciones permitieron afianzar el criterio de que en el campo del Trabajo comunitario los proyectos constituyen una alternativa eficiente para el desarrollo cultural endógeno de las comunidades. “Boquerón, un espacio azul para la cultura”, “Flor de Itabo” y “Dinamización de las comunidades Boquerón e Itabo”, se han convertido en proyectos de referencia en la provincia Las Tunas, debido al impacto que han tenido en el territorio.

Sus más de cinco años de ejecución que dan la idea de la motivación que han logrado en los beneficiarios directos; permiten apreciar la toma de conciencia de éstos sobre la necesidad de la participación comprometida en actividades socioculturales en defensa de la cultura y la identidad, la importancia que tiene el desarrollo de capacidades de gestión, la educación ambiental y el fomento de una cultura ecológica, que permite cambiar el entorno mediante acciones medioambientales que incluyen desde la preservación de la cocina y la medicina tradicionales, la lucha contra el ruido y la depredación del medio social, y la reforestación, lo cual hace posible una vida saludable en armonía con el entorno local.

Con estos proyectos se han desarrollado niveles de sostenibilidad que contribuyen a la actividad productiva de estas comunidades.

Los resultados obtenidos han tenido el visto bueno de las principales autoridades gubernamentales del territorio, tales como Presidente del Consejo de la Administración Municipal, Presidente del CITMA, del Forum de Ciencia y Técnica, del Consejo Científico Asesor del Centro Universitario

Municipal (CUM) así como de otros funcionarios encargados del cumplimiento de la aplicación de la Política Cultural del Estado Cubano.

Conclusiones

Los proyectos socioculturales constituyen una alternativa eficiente para el desarrollo cultural endógeno, desde, con y para las comunidades; la ejecución de éstos permite dinamizar la vida de las comunidades y lograr un impacto en el desarrollo cultural de las mismas.

La metodología de trabajo utilizada en este tipo de proyectos propicia la participación activa y comprometida tanto de los actores sociales de las comunidades, como del territorio que son estratégicos para el buen desarrollo del mismo, con ellos se logra una mayor vinculación con las instituciones del territorio. Los métodos de trabajo están diseñados para desatar procesos participativos orientados al tratamiento y atención de las demandas y necesidades identificadas en espacios colectivos de análisis y reflexión, donde se privilegian la construcción colectiva, el trabajo articulado y grupal, que convierte a los actores estratégicos y a los beneficiarios involucrados en el proyecto en sujetos de sus propias transformaciones.

Es significativo el impacto de este tipo de proyectos en el mejoramiento de los niveles de calidad vida de las comunidades Boquerón e Itabo, de Puerto Padre, Las Tunas, Cuba.

Literatura citada

1. Álvarez, A. (2012). *Proyecto cultural para preservar la cultura popular tradicional en la comunidad de Velasco*.
2. Carriera, J. (Compiladora) (2010). La gestión de proyectos socioculturales. Una aproximación desde sus dimensiones. Selección de lecturas.
3. García, Y. & Caballero, R. (2009). El desarrollo social y el trabajo comunitario, teoría, metodología y práctica cubanas. Editorial Ácana, Camaguey.
4. Infante, H, et al, (2014). La gestión medio ambiental en la zona costera de la playa La Llanita, municipio de Puerto Padre. Recuperado de: [cienciapc.idict.cu](http://cienciapc.idict.cu/index.php?N%C3%BCm.3(2014)) Núm. 3 (2014)
5. Macías, R. (2013). "Factores culturales y desarrollo cultural comunitario. Reflexiones desde la práctica. Universidad Vladimir I. Lenin, Las Tunas, pp 4-7
6. Macías, R. (2013). Diseño, evaluación y sistematización de proyectos de transformación sociocultural comunitaria.
7. Macías, R. (2014). El trabajo sociocultural comunitario: Fundamentos epistemológicos, metodológicos y prácticos para su realización. Editorial Academia Universitaria (EDACUN). Las Tunas.
8. Macías, R. (2009). Estudio de Comunidades I. Aspectos Teóricos.
9. Márquez, D. & Jaula, B. (2012). Estrategia de formación ambiental en la Universidad de Pinar del Río, Cuba. Recuperado de: www.congresouniversidad.cu/revista/index.php/.../article/viewFile/.../6
10. Martínez, M. (2007) Intervención sociocultural con énfasis en el autodesarrollo comunitario. En: Comunidades: complejidad y perspectiva multidisciplinaria de su praxis. (2007). ISBN: 978-959-250-321-2. Santa Clara. Cuba.
11. Moreno, J. (2006). Gestión de Proyectos Sociales y Culturales. Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba. P 3
12. Montero, A, (2001). Programa de formación de multiplicadores del cambio cultural comunitario: una propuesta, Santiago de Cuba.
13. Montes de Oca Ruiz, F, (2008). Estrategia para el desarrollo de la cultura ambiental en la comunidad de San José. (Tesis de Maestría).
14. Nápoles, J. & Macías, R. (2013). La lógica del proceso de investigación científica. Recuperado de: <http://atlante.eumed.net/logica-proceso-investigacion-cientifica/>
15. Parra, I, et al. (2015). Impacto medioambiental del proyecto "Boquerón, un espacio azul para la cultura" en Puerto Padre. Recuperado de: [cienciapc.idict.cu](http://cienciapc.idict.cu/index.php/cienciapc/article/download/369/853)
16. Portal, R, (2009) Comunidad y desarrollo. En R. Portal y Col (2009), Comunicación para el Desarrollo (p 12). Editorial Félix Varela. La Habana, Cuba.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 13 de mayo de 2014

Aceptado: 1 de julio de 2014

Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia

Strategies for adapting to climate change in two localities of the municipality of Junín, Cundinamarca, Colombia

Estratégias de adaptação às alterações climáticas em duas aldeias da cidade de Junín, Cundinamarca, Colômbia

Sud Sair Sierra Roncancio¹, Juan Guillermo Cano Muñoz² & Fabián Rojas Sánchez³

¹Ingeniero en Agroecología, Magister en Biología. Enfasis en ecología de poblaciones. ²Ingeniero en Agroecología, Magister en desarrollo sostenible y medio ambiente. ³Ingeniero en Agroecología, Especialista en Planeación ambiental y gestión integral de los recursos naturales

^{1,2,3}Convenio 019 Fortalecimiento de la Innovación a través de El Parque Científico de Innovación Social – PCIS - UNIMINUTO y la Gobernación de Cundinamarca. Sede Calle 90 No. 87 – 69. Bogotá. Colombia.

¹sair8025@hotmail.com, ²jcano@uniminuto.edu, ³fabian.rojas@uniminuto.edu

Resumen

A partir de la implementación del proyecto “Fortalecimiento de la capacidad de adaptación de la agricultura al cambio climático en territorios productores de agua en Cundinamarca”, el presente artículo de investigación analiza las estrategias de adaptación en las comunidades de las localidades de Claraval y Chuscales del municipio de Junín, departamento de Cundinamarca, Colombia, experiencia en la cual se utilizó la metodología de Investigación Acción Participativa (IAP), con el fin de ajustar criterios de investigación y principios agroecológicos para evaluar las estrategias implementadas. Se incluyó un ejercicio de cartografía social, como un instrumento de planificación y transformación social como soporte a la metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad). Se encontró que la adopción de

estrategias agroecológicas para mitigar el cambio climático mejora la dieta de las familias, aumenta el número de productos de la canasta familiar, además los sistemas de policultivos son más eficaces biológicamente en comparación a los monocultivos y que hay mayor estabilidad ecológica, económica, social, energética, e incremento de la productividad laboral en estos agroecosistemas. Se concluye que los sistemas silvopastoriles y policultivos son una estrategia importante en la adaptación de los pequeños productores a los efectos del cambio climático y que la resiliencia de los cultivos y de los productores es importante para la adaptación y recuperación de los sistemas productivos.

Palabras clave: biodiversidad, cambio climático, cultivos asociados, principios agroecológicos, resiliencia, sistemas agroforestales.

Abstract

As of the implementation of the project “Strengthening of the capacity of agriculture to adapt to climate change in water producers territories in Cundinamarca”, this research article discusses the adaptation strategies in the communities of localities of Clairvaux and Chuscales of the municipality of Junín, department of Cundinamarca, Colombia, experience in which its used the Research Participatory Action methodology (IAP), in order to set criteria for the investigation and agroecological principles to evaluate the strategies implemented. The study includes an exercise in social mapping, as a planning tool and social transformation as a support for the methodology MESMIS (Framework for the Evaluation of systems for the Management of Natural Resources Incorporating Sustainability Indicators). It was found that the adoption of strategies agroecological to mitigate climate change improves the diet of the families, increases the number of products in the shopping basket, also systems of polycultures are more effective biologically in comparison to the monocultures and that there is a greater ecological stability, economic, social, energy, and an increase of labor productivity in these agro-ecosystems. It was concluded that the silvopastoral systems and polycultures are an important strategy in the adaptation for small producers to the effects of climate change and the resilience of the crops and the producers it is important for adaptation and recovery of production systems.

Keywords: biodiversity, climate change, associate cultivation, agro-ecological principles, resilience, agroforestry systems

Resumo

A partir da implementação do projeto “Fortalecimento da capacidade de adaptação da agricultura à mudança climática em territórios produtores de água em Cundinamarca”, o presente artigo de pesquisa analisa as estratégias de adaptação nas comunidades das aldeias de Claraval e Chuscales, do município de Junín, estado de Cundinamarca, Colômbia, experiência na qual se utilizou a metodologia de investigação ação participativa (IAP), a fim de ajustar critérios de pesquisa e princípios agroecológicos para avaliar as estratégias implementadas. Realizou-se um exercício de cartografia social como um instrumento de planificação e transformação social como suporte à metodologia MÈSMIS (Marco para a avaliação de sistemas de manejo de recursos naturais envolvendo indicadores de sustentabilidade). Encontrou-se que a adoção de estratégias agroecológicas para mitigar a mudança climática melhora a dieta das famílias e aumenta o número de produtos do mercado familiar, além de que os sistemas de policulturas são mais eficazes biologicamente em comparação aos monoculturas e que tem maior estabilidade ecológica, econômica, social, energética e incremento da produtividade laboral em estes agroecossistemas. Se conclui que os sistemas silvopastoris e policulturas são uma estratégia importante na adaptação dos pequenos produtores aos efeitos da mudança climática e que a resiliência das culturas e dos produtores é importante para a adaptação e recuperação dos sistemas produtivos.

Palavras-chave: biodiversidade, mudança climática, culturas associadas, princípios agroecológicos, resiliência, sistemas agroflorestais.

Introducción

El cambio climático es una de las principales preocupaciones para la agricultura. Constituye uno de los principales desafíos de la actualidad, debido a que se hacen necesarias medidas inmediatas y adecuadas que permitan enfrentar las consecuencias de manera eficaz en términos de

costos y productividad y por las cuales los pequeños productores se ven afectados por la disminución de la producción tanto agrícola como pecuaria (Campos, Velázquez, & McCall, 2014; Hertel & Lobell, 2014; Hurduzeu, Kevorchian, Gavrilescu, & Hurduzeu, 2014; IPCC, 2007). Para hacer frente a

estos cambios, el sector agrícola ajusta y/o diseña estrategias que permitan amortiguar y adaptarse al cambio climático, garantizar la seguridad alimentaria de la población en crecimiento y mejorar los medios de subsistencia de los pequeños productores (Bryan *et al.*, 2011).

La disminución de los efectos del cambio climático sobre la agricultura se pueden abordar desde dos perspectivas: la reducción de fuentes de gases efecto invernadero y la adaptación (Locatelli, *et al.*, 2011; Vignola, *et al.*, 2009,) estrategias que deben ser ajustadas a las condiciones, no solo climáticas, sino socioeconómicas y culturales de cada región.

Algunos de los efectos del cambio climático sobre la agricultura y la ganadería son las sequías, las heladas, las inundaciones, las olas de calor, las tormentas de granizo (González, *et al.*, 2003; Kim, n.d.; Scialabba & Müller-Lindenlauf, 2010) y los cambios en los hábitos de vida de plagas (ej: desplazamiento a zonas con mayor elevación sobre el nivel del mar, de garrapatas y chinches de los pastos) (Nardone, *et al.*, 2010). Igualmente, en muchos lugares de los trópicos y subtropicos los sistemas agrícolas y ganaderos están sufriendo cambios acelerados, y aunque, los efectos del calentamiento global no sean totalmente adversos para todas la regiones, se espera un aumento a nivel mundial con efectos negativos en los cultivos y forrajes (Nardone, *et al.*, 2010; Thornton, *et al.*, 2009. A pesar de estas afectaciones, los agricultores tienden a adaptarse al cambio climático, pero sus medidas no pueden compensar completamente los efectos negativos (Wang, *et al.*, 2014).

El clima es un factor importante en la productividad agrícola. En las últimas décadas los cambios provocados por las actividades del hombre en el medio ambiente han intensificado, junto con los riesgos de la producción, los efectos negativos sobre los cultivos (Sehgal, *et al.*, 2013). Una de las principales técnicas utilizadas por los pequeños agricultores es el uso de su diversidad paisajística y de diferentes especies en la producción, lo cual

es una estrategia de adaptación para garantizar el suministro de bienes y servicios. Además de hacer frente a la incertidumbre de los eventos climáticos, otra estrategia utilizada son los sistemas silvopastoriles, entendidos como prácticas para el manejo eficiente y sustentable de los recursos naturales (Campos, *et al.*, 2014).

Los sistemas de cultivos asociados o policultivos son “una estrategia de diversificación espacial reconocida en el cultivo ecológico, o la producción de dos o más cultivos en la misma superficie durante el mismo año” (Guzmán Casado & Alonso Mielgo, 2008; Rodríguez-Morán, 2010; Sarandón, 2005).

Los sistemas silvopastoriles incluyen especies arbóreas y arbustivas que mejoran la producción y proveen servicios ambientales como la captura de CO₂ y la conservación de biodiversidad “con un componente de ganadería que puede caracterizarse como una producción más limpia, ya que proporcionan una variedad de bienes y servicios a la sociedad; una de sus funciones es la de ayudar a adaptarse y mitigar el cambio climático” (Nahed-Toral, *et al.*, 2013).

“A pesar de la importancia de la ganadería para los pequeños agricultores y la magnitud de los cambios que puedan impactar a sus sistemas agrícolas y ganaderos, la confluencia del cambio climático y la agricultura en los países en vía de desarrollo es un área de investigación relativamente descuidada” (Thornton, *et al.*, 2009), donde el uso de técnicas de adaptación debe estar basado en metodologías replicables que permitan comparar entre diferentes entornos y que los aportes de los interesados se reflejen en los resultados, y no simplemente en percepciones. Así, la vinculación efectiva de la participación de entes gubernamentales a nivel regional y nacional se verá reflejado en los cambios de las políticas en torno al sector agrícola y ambiental (Lee, *et al.*, 2014). La presente investigación busca analizar los procesos y técnicas de adaptación de los pequeños campesinos frente a los impactos generados por el cambio climático sobre la agricultura y la ganadería

Metodología

Zona de estudio

La presente investigación se desarrolló en el municipio de Junín, localizado al suroriente del departamento de Cundinamarca, el cual forma parte de la provincia del Guavio, junto con los municipios de Gachetá, Gachalá, Gama y Ubalá. La cabecera municipal está a una altura de 2.300 msnm y presenta una temperatura promedio de 16°C (Junín, 2014). Las zonas intervenidas por el proyecto fueron las inspecciones de Chuscales y Claraval, caracterizadas por experimentar cambios drásticos en la agricultura en los últimos años, entre estos, la erosión de los suelos (erosión laminar), la alta dependencia de insumos químicos para el control de plagas y enfermedades y la baja reconversión productiva. Estas zonas se destacan por un desarrollo agropecuario comercial en pequeña escala, alrededor de los cultivos de papa (*Solanum tuberosum*)

y fríjol (*Phaseolus vulgaris*), con flujos comerciales desde Gachalá y la inspección de Claraval, y por el desarrollo de la ganadería, en el que se destaca la cría, levante y engorde extensivos con niveles bajos de productividad, en fincas de tamaño pequeño y mediano (Junín, n.d.).

El trabajo con las comunidades participantes del proyecto se desarrolló durante el año 2014, con visitas semanales durante todo el proceso por parte del equipo investigativo, con dos etapas: la primera de reconocimiento (febrero - junio) y la segunda de implementación de parcelas demostrativas (julio – octubre)

Proceso de intervención

El trabajo de investigación desarrollado con las comunidades de las inspecciones de Claraval y Chuscales se implementó en tres (3) fases de intervención, como se muestra en la Figura 1, y se detallan a continuación.

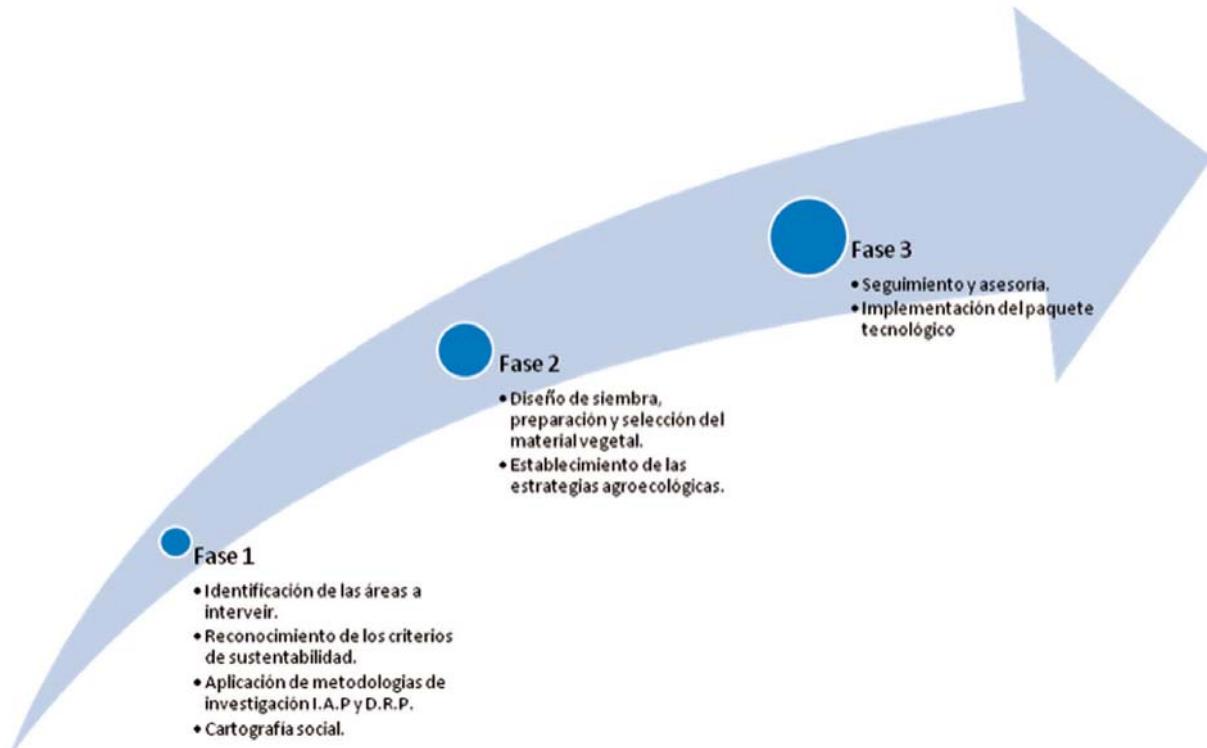


Figura 1. Fases de intervención del trabajo investigativo

Primera fase: Diagnósticos participativos

En esta fase se desarrollaron sesiones de diagnósticos participativos con la comunidad. Se identificó la población objeto, sus características socio-culturales y las condiciones de sus unidades productivas: área total, sistemas productivos implementados, vías de acceso, áreas protegidas, puntos de agua (nacimientos) y vecinos (Amado, et al., 2004; López & Tamariz, 2012). Mediante estas sesiones se lograron identificar, definir y jerarquizar los problemas más relevantes y los efectos del cambio climático en los sistemas productivos, tanto ganaderos como agrícolas.

Una vez identificados los predios participantes del proyecto, se procedió a geo-referenciar las unidades a intervenir. El área propuesta para la implementación de las unidades fue de 5000 m².

Asimismo, la Investigación Acción Participativa (I.A.P) jugó un papel importante en la implementación de las estrategias de mitigación de los efectos del cambio climático. Esta se basa en la participación de los propios colectivos a investigar, en donde los campesinos son intérpretes de su desarrollo productivo, social y ambiental y con la que se pueden obtener resultados sólidos y útiles para mejorar situaciones colectivas (Alberich Nistal, 2007; Basagoiti, et al., 2001; Pereda, et al., 2003).

Dentro del Diagnóstico Rural Participativo (D.R.P) se incluyó un ejercicio de cartografía social, como un instrumento de planificación y transformación social el cual consiste en una construcción del conocimiento a partir de la intervención y el trabajo social, facilitando la transformación del mis-

mo (Carvajal, 2005; Montoya, García, & Ospina, 2014; Quiñones, 2014; Tropenbos, 2009. Esta metodología se aplicó en el diagnóstico como soporte a la metodología MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad), la cual evalúa las iniciativas campesinas hacia la sustentabilidad, la autonomía, la auto-suficiencia y la soberanía alimentaria (Giraldo & Valencia, 2010).

Segunda fase: Implementación de parcelas demostrativas

Para el establecimiento de las parcelas demostrativas se diseñó una estrategia común para todos los participantes, en la cual, ellos adquirían compromisos para el cumplimiento de las metas propuestas. Se les solicitó a los usuarios del proyecto mano de obra y la participación de su núcleo familiar.

La preparación, diseño e implementación de las parcelas productivas se basó en la metodología descrita por Sarandón (2005). En la implementación de las parcelas de cultivos asociados se realizó una intervención manual del suelo, ya que la labranza mínima permite conservar las características propias del mismo sin afectar la biodiversidad edáfica (Kladivko, 2001; Sheibani & Ahangar, 2013; van Capelle, Schrader, & Brunotte, 2012). Por otro lado, en las parcelas fueron sembradas varias especies teniendo en cuenta los tiempos de cosecha, el manejo fitosanitario y la alelopatía entre especies, como se puede observar en la Tabla 1, elegidas de acuerdo a las características agroecológicas de la zona.

Tabla 1. Especies seleccionadas para siembra en la zona de estudio

Tipo	Especie
Aromática	Hierba buena (<i>Mentha spicata</i>)
	Menta (<i>Mentha aquatica</i>)
	Albahaca (<i>Ocimum basilicum</i>)
	Toronjil (<i>Melissa officinalis</i>)
	Tomillo (<i>Thymus caespititius</i>)
	Caléndula (<i>Calendula officinalis</i>)
	Manzanilla (<i>Chamaemelum nobile</i>)
	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) var. Crespa verde
	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) var. Crespa morada
	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) var. Verde lisa
Hortaliza	Lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) var. Batavia
	Acelga (<i>Beta vulgaris</i>) var. China
	Brócoli (<i>Brassica oleracea italica</i>)
	Coliflor (<i>Brassica oleracea</i>) var. Botrytis
	Acelga (<i>Beta vulgaris</i>)
	Espinaca (<i>Spinacia oleracea</i>)
	Repollo (<i>Brassica oleracea</i>) var. Capitata
	Rábano (<i>Raphanus sativus</i>)
	Cebolla larga (<i>Allium fistulosum</i>)
	Uchuva (<i>Physalis peruviana</i>)
Frutal	Fresa (<i>Fragaria orientalis</i>)
	Durazno (<i>Prunus persica</i>)
	Feijoa (<i>Acca sellowiana</i>)
	Ocas (<i>Ullucus tuberosus</i>)
Tubérculo	Yacón (<i>Smallanthus sonchifolius</i>)
	Cubios (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)
	Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)
Cereal Andinos	Amaranto (<i>Amaranthus</i>)

Las especies nombradas fueron seleccionadas para el proyecto “Fortalecimiento de la capacidad de adaptación al cambio climático en territorios productores de agua en Cundinamarca”, por la adaptación que poseen a las condiciones agroecológicas de las zonas en las que se desarrolló el mismo.

En los sistemas agroforestales se implementaron las parcelas en potreros que ya tenían un proceso de pastoreo convencional, donde no se hacía manejo adecuado y sólo se contaba con el pasto Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). Para la implementación de la estrategia del proyecto se sembraron especies vegetales perennes, las cuales por sus características aportan servicios al sistema productivo a intervenir, donde contribuyen con nitrógeno al suelo, estructura, profundidad radicu-

lar, protección contra la erosión eólica, cobertura vegetal y mejores condiciones para los animales. Los materiales utilizados se encuentran descritos en la Tabla 2. Para la preparación del terreno se realizó una mecanización media en la cual se pasó el tractor con rotovator, con el fin de aflojar el suelo compactado por el pisoteo del ganado.

Luego de la mecanización se realizó la fertilización y posteriormente la siembra de las especies, con las distancias de siembra descritas en la Tabla 2, como bancos de forraje, con el objetivo tanto de enriquecer la dieta de los animales, con un alto contenido de proteínas y de buena digestibilidad, y para brindar materia seca durante todo el año. (Marinidou & Jiménez, 2010; McDermott & Rodewald, 2014; Nahed-Toral, et al., 2013; Sileshi et al., 2014; Vallejo et al., 2012)

Tabla 2. Especies seleccionadas para la implementación de las parcelas del sistema agroforestal en la zona de estudio.

Especies Arbóreas o Arbustivas	Especies de Pastura
Alico (<i>Alnusacuminata</i>)	Ryegrass (<i>Loliummultiflorum</i>)
Chachafruto (<i>Erythrinaedulis</i>)	Trebol (<i>Trifoliumpratense</i> y <i>Trifoliumrepens</i>)
Sauco (<i>Sambucusnigra</i>)	Kikuyo (<i>Pennisetumclandestinum</i>)
Botón de oro (<i>Tithoniadiversifolia</i>)	

Nota: El alico y el chachafruto se sembraron en la zona perimetral como cerca viva y barrera rompe viento a una distancia de siembra de 3 m entre árboles y de forma intercalada, el sauco y el botón de oro entremezclado en la pastura para consumo por el ganado en forma de ramoneo. De las especies de pastura se introdujeron el Ryegrass y el trébol, ya que el kikuyo se encontraba ya establecido en los potreros.

Tercera fase: Manejo de las parcelas

En el mantenimiento de los sistemas agroecológicos se utilizó un paquete tecnológico con base en insumos biológicos y/u orgánicos. Para el control de plagas y enfermedades se usaron los insumos, que se establecen en la Tabla 3. Este manejo se complementó con labores culturales, asegurando que los productos aplicados en las parcelas demostrativas se ajustaran a un cronograma y a una bitácora de campo, donde

se consignaron datos como dosificación, hora, fecha, producto y operario que aplica.

La fertilización de las parcelas demostrativas se realizó con el uso de compostaje, micorrizas, humus y microorganismos fijadores de nitrógeno y solubilizadores de fósforo. Estos organismos fueron inoculados en la preparación de las camas y en la siembra de las especies vegetales (alrededor de 150 g/planta). La fertilización se realizó en dos momentos: el primero, cuando las plantas son

sembradas y el segundo, alrededor de 45 días después de la siembra, efectuando un desyerbe y la correspondiente aplicación de abono compuesto en corona, para esta última actividad se aplicó a nivel foliar el humus.

Tabla 3. Insumos y dosificación utilizados en el manejo de las parcelas demostrativas en la zona de estudio

Insumo	Dosificación
Bauveria bassiana	3g/l
Metarhizium spp	3g/l
Trichoderma spp	3g/l
Bacillus thuringiensis	1-2 g/l
Extracto de neem	3 cc/l
Extracto de ajo-ají	4 cc/l
Caldo bordeles	3g/l

Nota: Los insumos implementados en el manejo de las estrategias agroecológicas son inoculantes microbianos (amigables con el medio ambiente). Ajustados a un protocolo de uso y manejo para la región intervenida

Resultados y Discusión

Con el establecimiento de las parcelas demostrativas en sistemas de cultivos asociados en las inspecciones participantes del proyecto y el trabajo con agricultura familiar, que según la Comunidad Andina (2011), es aquella “que tiene como uso prioritario la fuerza de trabajo familiar, con acceso limitado a recursos de tierra y capital así como uso de múltiples estrategias de supervivencia y de generación de ingresos”, se logra que la dieta de las familias enriquezca, aumentando el número de productos de su canasta familiar. Además, los sistemas de policultivos muestran una mayor eficacia biológica en comparación a los monocultivos, debido a que los agricultores tienen un mejor uso del área productiva, con un aprovechamiento de todos los espacios del suelo al sembrarlos en la misma época, consiguiendo mayor estabilidad ecológica,

económica, social, energética, e incrementando la productividad laboral (Anders, Potdar, & Francis, 1996; Badgley, et al., 2007; Patel et al., 2014; Wu & Wu, 2014).

Asimismo, la disminución del uso de insumos químicos conlleva a la conservación de la biodiversidad en el suelo y de cultivos y especies relacionadas (Zhu, et al., 2015) y a la mejora de las condiciones de vida de las familias que participaron del proyecto (Peterson, 2010). Los paquetes tecnológicos homogéneos no son adaptables a la heterogeneidad campesina y sólo funcionan en condiciones similares a las de los países industriales y las estaciones experimentales (Altieri & Nicholls, 2000). La mayoría de los campesinos del mundo mantienen pequeños sistemas agrícolas diversificados que ofrecen modelos prometedores para incrementar la biodiversidad, conservar los recursos naturales, estabilizar los rendimientos sin agroquímicos, prestar servicios ecológicos y entregar lecciones notables de resiliencia frente al continuo cambio ambiental y económico (Altieri & Nicholls, 2000).

El empleo de insumos biológicos en el manejo de las parcelas demostrativas estimula la regeneración de los suelos (Zhu et al., 2015), así como la descontaminación de las fuentes hídricas, ya que no se usan los pesticidas sintéticos que han jugado un papel importante en la contaminación y desmejora del medio ambiente y la salud humana. El manejo biológico de cultivos induce la protección de sistemas naturales en relación con la intensificación de los sistemas agrícolas (D'Addabbo, Laquale, Lovelli, Candido, & Avato, 2014).

Por otro lado, los sistemas silvopastoriles ayudan a la conservación de las condiciones naturales del suelo (Navas, 2010) y funcionan como corredores biológicos para muchas especies de aves e insectos benéficos que pueden estar relacionados con los bienes y servicios que obtienen los agricultores del ecosistema (Ojeda, Restrepo, Villada, & Gallego, 2003).

Los sistemas silvopastoriles y policultivos son una estrategia importante en la adaptación de los pequeños productores a los efectos del cambio climático que están afectando la producción agropecuaria en el trópico. La resiliencia de los productores junto con la resiliencia de los cultivos es importante para la adaptación y recuperación de los sistemas productivos.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la SCTel de la Gobernación de Cundinamarca, a UNIMINUTO y su Parque Científico de Innovación Social-PCIS-, y a las comunidades de las poblaciones de Claraval y Chuscales, participantes del Proyecto: “Fortalecimiento de la Capacidad de Adaptación al Cambio Climático en Territorios Productores de Agua en Bogotá y Cundinamarca 100-PS-3-13-004” y al grupo de investigadores del proyecto: Luis Eduardo Sanchez, Catherine Niño, Yulieth Prieto y Albert Hernández, Fabián Rojas y Juan Guillermo Cano.

Literatura citada

1. Alberich Nistal, T. (2007). Investigación - Acción Participativa y Mapas Sociales.
2. Altieri, M. & Nicholls, C. (2000). Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable. (P. de las N. U. para el M. Ambiente, Ed.) (p. 250). México D.F.
3. Altieri, M. & Nicholls, C. (2012). Agroecología: única esperanza para la soberanía alimentaria y la resiliencia socioecológica. *Agroecología*, 7, 65–83. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10201/36556>
4. Amado, R., Cristalino, F. & Hernández, E. (2004). El diagnóstico participativo como herramienta para la elaboración de proyectos educativos. Maracaibo.
5. Anders, M., Potdar, M. & Francis, C. (1996). Significance of intercropping in cropping systems. Dynamics of Roots and Nitrogen in Cropping Systems of the Semi-Arid Tropics, 1–18. Recuperado de: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Significance+of+intercropping+in+cropping+systems.#0>
6. Badgley, C., Moghtader, J., Quintero, E., Zakem, E., Chappell, M. J., Avilés-Vázquez, K. et al. (2007). Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 22(02), 86. doi:10.1017/s1742170507001640
7. Basagoiti R., M., Bru M., P & Lorenzana, C. (2001). La IAP de bolsillo (ACSUR p. 54). Madrid.
8. Bryan, E., Ringler, C., Okoba, B., Koo, J., Herrero, M. & Silvestri, S. (2011). Agricultural Management for Climate Change Adaptation, Greenhouse Gas Mitigation, and Agricultural Productivity (p. 52). Washington, DC.
9. Campos, M., Velázquez, A. & McCall, M. (2014). Adaptation strategies to climatic variability: A case study of small-scale farmers in rural Mexico. *Land Use Policy*, 38, 533–540. doi:10.1016/j.landusepol.2013.12.017
10. Carvajal B., J. C. (2005). Territorio y Cartografía Social (pp. 1–9). Popayán.
11. Comunidad Andina. (2011). Agricultura Familiar Agroecológica Campesina en la Comunidad Andina: Una Opción para Mejorar la Seguridad Alimentaria y Conservar la Biodiversidad. *Revista Agroecología*, 1–54. Recuperado de: http://www.comunidadandina.org/Upload/2011610181827revista_agroecologia.pdf
12. D'Addabbo, T., Laquale, S., Lovelli, S., Candido, V. & Avato, P. (2014). Biocide plants as a sustainable tool for the control of pests and pathogens in vegetable cropping systems. *Italian Journal of Agronomy*, 9(4), 137. doi:10.4081/ija.2014.616
13. Giraldo, R. & Valencia, F. (2010). Evaluación de la sostenibilidad 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.
14. González E, M., Jurado, E., González E, S., Aguirre C, Ó., Jiménez P, J. & Navar, J. (2003). Cambio climático mundial: origen y consecuencias. *Ciencia UANL*, 6(3), 377–386.
15. Guzmán Casado, G. & Alonso Mielgo, M. (2008). Buenas Prácticas en Producción Ecológica: Asociaciones y Rotaciones (p. 28). Granada, España.
16. Hertel, T. W. & Lobell, D. B. (2014). Agricultural adaptation to climate change in rich and poor countries: Current modeling practice and potential for empirical contributions. *Energy Economics*. doi:10.1016/j.eneco.2014.04.014
17. Hurduzeu, G., Kevorchian, C., Gavrilescu, C. & Hurduzeu, R. (2014). Hazards and Risks in the Romanian Agriculture Due to Climate Changes. *Procedia Economics and Finance*, 8, 346–352. doi:10.1016/S2212-5671(14)00100-2
18. IPCC. (2007). Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo. IPCC, Ginebra, Suiza: [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)].
19. Junín, M. de. (n.d.). Esquema de ordenamiento territorial. Junín, Cundinamarca. Recuperado de: <http://junin-cundinamarca.gov.co/apc-aa-filles/32643630623436323562643137343865/esquema-de-ordenamiento-territorial.pdf>
20. Kim, C.-G. (n.d.). The Impact of Climate Change on the Agricultural Sector: Implications of the Agro-Industry for Low Carbon, Green Growth Strategy and Roadmap for the East Asian Region. Korea Rural Economic Institute.

21. Kladivko, E. J. (2001). Tillage systems and soil ecology. *Soil and Tillage Research*, 61(1-2), 61–76. doi:10.1016/S0167-1987(01)00179-9
22. Lee, D. R., Edmeades, S., De Nys, E., McDonald, A. & Janssen, W. (2014). Developing local adaptation strategies for climate change in agriculture: A priority-setting approach with application to Latin America. *Global Environmental Change*, 29, 78–91. doi:10.1016/j.gloenvcha.2014.08.002
23. Locatelli, B., Evans, V., Wardell, A., Andrade, A. & Vignola, R. (2011). Forests and Climate Change in Latin America: Linking Adaptation and Mitigation. *Forests*, 2(4), 431–450. doi:10.3390/f2010431
24. López, J. A. & Tamariz, N. (2012). Guia para la Realización de Diagnósticos Participativos Comunitarios. San Cristobal-Táchira: Andrea Simancas, Coordinadora CISP – Venezuela.
25. Marinidou, E. & Jiménez, G. (2010). Sistemas silvopastoriles. (C. N. Forestal, Ed.) (p. 49). Chiapas, México.
26. McDermott, M. E. & Rodewald, A. D. (2014). Conservation value of silvopastures to Neotropical migrants in Andean forest flocks. *Biological Conservation*, 175, 140–147. doi:10.1016/j.biocon.2014.04.027
27. Montoya, V., García, A. & Ospina, C. A. (2014). Andar dibujando y dibujar andando: cartografía social y producción colectiva de conocimientos. *Nómadas*, 40, 190–205.
28. Nahed-Toral, J., Valdivieso-Pérez, A., Aguilar-Jiménez, R., Cámaras-Cordova, J., & Grande-Cano, D. (2013). Silvopastoral systems with traditional management in southeastern Mexico: a prototype of livestock agroforestry for cleaner production. *Journal of Cleaner Production*, 57, 266–279. doi:10.1016/j.jclepro.2013.06.020
29. Nardone, A., Ronchi, B., Lacetera, N., Ranieri, M. S. & Bernabucci, U. (2010). Effects of climate changes on animal production and sustainability of livestock systems. *Livestock Science*, 130(1-3), 57–69. doi:10.1016/j.livsci.2010.02.011
30. Navas, A. (2010). Importancia de los sistemas silvopastoriles en la reducción del estrés calórico en sistemas de producción ganadera tropical. *Revista de Medicina Veterinaria*, 19, 113–122.
31. Ojeda, P., Restrepo, J., Villada, D. & Gallego, J. (2003). Sistemas Silvopastoriles, Una Opción para el Manejo Sustentable de la Ganadería (p. 54). Santiago de Cali, Valle del Cauca, Colombia.
32. Patel, D. P., Das, A., Kumar, M., Munda, G. C., Ngachan, S. V., Ramkrushna, G. I. et al. (2014). Continuous application of organic amendments enhances soil health, produce quality and system productivity of vegetable-based cropping systems in Subtropical Eastern Himalayas. *Experimental Agriculture*, 51(01), 85–106. doi:10.1017/S0014479714000167
33. Pereda, C., de Prada, M. Á., & Actis, W. (2003). Investigación acción participativa: propuesta para un ejercicio activo de la ciudadanía. Córdoba: Colectivo Ioé.
34. Peterson, L. (2010). Formulación del Proyecto: “Biofertilizantes, bioprotectores y biorestauradores Micorrícos para la producción agroecológica en las fincas de los Productores de café” (Federación., p. 87). Managua.
35. Quiñones, M. C. (2014). Una experiencia de cartografía social en la zona de Bajamar - Isla de Cascajal Buena-ventura-. *Entramado*, 7(2), 156–171.
36. Rodríguez-Morán, J. M. (2010). Policultivos: asociación de hortalizas en cultivo ecológico, (Lm), 1–12.
37. Sarandón, S. J. (2005). Capítulo 6 Posibilidades de uso de sistemas de policultivos en una agricultura sustentable. In E. C. Americanas (Ed.), *Curso de Agroecología y Agricultura Sustentable* (pp. 1–13). La Plata.
38. Scialabba, N. E.-H. & Müller-Lindenlauf, M. (2010). Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 25(02), 158–169. doi:10.1017/S1742170510000116
39. Sehgal, V. K., Singh, M. R., Chaudhary, A., Jain, N. & Pathak, H. (2013). Vulnerability of Agriculture to Climate Change: District Level Assessment in the Indo-Gangetic Plains (Indian Agr., p. 74). New Delhi.
40. Sheibani, S. & Ahangar, A. G. (2013). Effect of tillage on soil biodiversity. *Journal of Novel Applied Sciences*, 2(8), 273–281.
41. Sileshi, G. W., Mafongoya, P. L., Akinnifesi, F. K., Phiri, E., Chirwa, P., Beedy, T., ... Njoloma J., Wuta M., Nyamugafata P. & J. O. (2014). Agroforestry: Fertilizer Trees. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* P, 1, pp. 222–234. doi:10.1016/B978-0-444-52512-3.00022-X
42. Thornton, P. K., van de Steeg, J., Notenbaert, A. & Herrero, M. (2009). The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: A review of what we know and what we need to know. *Agricultural Systems*, 101(3), 113–127. doi:10.1016/j.agsy.2009.05.002
43. Tropenbos. (2009). Herramienta de trabajo en cartografía social (p. 7).
44. Vallejo, V. E., Arbeli, Z., Terán, W., Lorenz, N., Dick, R. P. & Roldan, F. (2012). Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 150, 139–148. doi:10.1016/j.agee.2012.01.022
45. Van Capelle, C., Schrader, S. & Brunotte, J. (2012). Tillage-induced changes in the functional diversity of soil biota – A review with a focus on German data. *European Journal of Soil Biology*, 50, 165–181. doi:10.1016/j.ejsobi.2012.02.005
46. Vignola, R., Locatelli, B., Martinez, C. & Imbach, P. (2009). Ecosystem-based adaptation to climate change: what role for policy-makers, society and scientists? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 14(8), 691–696. doi:10.1007/s11027-009-9193-6

47. Wang, J., Huang, J. & Yang, J. (2014). Overview of Impacts of Climate Change and Adaptation in China's Agriculture. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(1), 1–17. doi:10.1016/S2095-3119(13)60588-2
48. Wu, K. & Wu, B. (2014). Potential environmental benefits of intercropping annual with leguminous perennial crops in Chinese agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 188, 147–149. doi:10.1016/j.agee.2014.02.026
49. Zhu, X., Zhu, B., Castro, G. S. A., Criscioli, C. A. C., Calonego, J. C. & Rosolem, C. A. (2015). Diversity and abundance of soil fauna as influenced by long-term fertilization in cropland of purple soil, China. *Soil and Tillage Research*, 146(PA), 39–46. doi:10.2136/vzj2014.07.0093

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 5 de octubre de 2014
Aceptado: 12 de noviembre de 2014

Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia

Current conditions in terms of loss of biodiversity in biological corridors of the Uniminuto Agro-ecological Farm, Villavicencio, Meta, Colombia

Condições atuais em termos de perda de biodiversidade em corredores biológicos da Fazenda Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colômbia

Guillermo González Jiménez¹ & Nélvar Choque Ladino²

¹Administrador de Empresas Agropecuarias, Especialista Producción Agrícola Tropical Sostenible, Estudiante de Maestría en Producción Tropical Sostenible en la Universidad de los Llanos.

²Médico Veterinario Zootecnista

^{1,2}Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO, Semillero de Investigación Agroecosistemas Sostenibles de la Orinoquia Colombiana – ASOC, Villavicencio – Meta, Colombia.

gugonzalez@Uniminuto.edu, nelvarchoque@hotmail.com

Resumen

La Granja Agroecológica Uniminuto, ubicada en el Municipio de Villavicencio, Meta, Colombia, hace parte de la biomicrocuenca del río Guayuriba, lugar donde se realizó un proceso de reconocimiento de condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos, con el propósito de desarrollar propuestas que permitan proteger los ecosistemas y cuidar y conservar las especies nativas de fauna y flora, generando procesos de sensibilización y concientización en las comunidades de la zona. Metodológicamente, a partir del levantamiento de la línea base, se obtuvo información a través de herramientas de recolección primaria: encuestas, registros fotográficos, trabajos de extensión con la comunidad, observación y salidas de campo. Los resultados indican que a pesar del alto nivel de fragmentación, defor-

restación, pérdida de conectividad y de coberturas vegetales e intervención humana, aún existe gran biodiversidad de especies (fauna y flora) las cuales sirven como bio-indicadores de dinámicas poblacionales y regeneración natural de ecosistemas. Del orden de los primates, se identificó la especie *Callicebus ornatus*, localmente aislada en un relict boscoso, la cual se halla amenazada en estado vulnerable y con una circulación restringida a los corredores objeto de estudio donde ubica sitios específicos de alimentación. Se concluye que existe un alto nivel de intervención humana en los corredores biológicos y relictos boscosos pero es notable la resiliencia de los ecosistemas.

Palabras clave: bioindicadores, conservación, conectividad, fauna, flora

Abstract

The Uniminuto agro-ecological farm, located in the city of Villavicencio, Meta, Colombia, is part of the biomicrocuenca of the Río Guayuriba, place where a process of recognition of current conditions was established in terms of loss of biodiversity in biological corridors, in order to develop proposals to protect ecosystems and take care and preserve native species of fauna and flora generating processes of sensitization and awareness-raising in communities in the area. Methodologically, the rising of the baseline information was collected through primary collection tools: surveys, photographic records, works of extension with the community, observation, and field trips. The results indicated that despite the high level of fragmentation, deforestation, loss of connectivity and plant cover and human intervention, there is still great biodiversity of species (fauna and flora) which serve as bio-indicators of the population dynamics and natural regeneration of ecosystems. Within the order of the primates, it was identified the species *Callicebus ornatus*, locally isolated in a forest relict, which it is threatened in a vulnerable state and with circulation restricted to the corridor, object of study where it were located specific feeding sites. It was concluded that there is a high level of human intervention in forest relicts and biological corridors but the resilience of ecosystems is remarkable.

Key-words: bioindicators, conservation, connectivity, fauna, flora

Resumo

A granja agroecológica Uniminuto, localizada no município de Villavicencio, Meta, Colômbia, faz parte da bio-microcuenca do rio Guayuriba. Em corredores biológicos desta granja, realizou-se um processo de reconhecimento das condições atuais em termos de perda de biodiversidade, visando desenvolver propostas que permitam proteger os ecossistemas e conservar as espécies nativas de fauna e flora, gerando assim processos de sensibilização e conscientização nas comunidades da área. A partir da linha base, informações foram obtidas por meio de ferramentas primárias de coleta: entrevistas, registros fotográficos, trabalhos de extensão com a comunidade, observação e saídas de campo. Os resultados indicam que apesar do elevado nível de fragmentação, desmatamento, perda de conectividade, coberturas vegetais e intervenção humana, ainda existe grande biodiversidade de espécies (fauna e flora), que servem como bioindicadores da dinâmica populacional e regeneração natural de ecossistemas. Da ordem dos primatas, se identificou a espécie *Callicebus ornatus*, localmente isolada em um remanente arborizado, a qual está ameaçada, em estado vulnerável e com circulação restrinida aos corredores em estudo onde encontram-se sítios específicos de alimentação. Foi concluído que existe um elevado nível de intervenção humana em corredores biológicos e remanentes de floresta, porém, com destacada resiliência dos ecossistemas.

Palavras-chave: Biomarcadores, armazenamento, conectividade, fauna, flora

Introducción

El departamento del Meta, Colombia, cuenta con una extensión de 85.635 Km² en los cuales se desarrollan diversos proyectos de tipo agroindustrial como son ganadería, cultivos de cereales, palma de aceite, caucho, entre otros, actividades que han generado cambios sustanciales en los ecosistemas en términos de pérdida de biodiversidad, cambios en el uso de la tierra, presión sobre los

recursos naturales, contaminación de fuentes hídricas y fragmentación de hábitat.

La visión de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO es generar procesos de innovación social incluyente. Esto quiere decir, que se busca apoyar el desarrollo del hombre de una manera integral, donde sea capaz de vivir en

armonía con su familia, su comunidad y los ecosistemas, generando procesos sostenibles, el cual es el esfuerzo que hace la institución a través de la Granja Agroecológica en Villavicencio, Meta.

Reconocer el entorno de la Granja y entender las dinámicas que allí se generan es el primer paso que se ha dado para direccionar y proyectar sus acciones y esfuerzos. Este predio se ubica a 15 km de la cabecera municipal, en una zona de vocación y dedicación agropecuaria, con grandes asentamientos humanos y grandes extensiones de ecosistemas naturales como esteros, morichales, lagunas y ríos. Las dinámicas poblacionales y productivas han llevado a generar grandes presiones en la biomicrocuenta del río Guayuriba, área a la que pertenece la Granja Agroecológica.

Como respuesta a esta situación, el proyecto desarrolla un trabajo de ecología del paisaje de acuerdo con lo descrito por Gurrutxaga, (2008) y Ross,(2006) y tomando el concepto de Cardenal (2002), Matteucci (2014) y García (2012) respecto al área de

influencia de la Granja Agroecológica Uniminuto, donde se busca reconocer la importancia de los corredores biológicos como autopistas naturales de desarrollos ecosistémicos de especies nativas de fauna y flora cuyo objetivo es el fortalecimiento de estas estructuras mediante procesos de sensibilización y vinculación activa de las comunidades sobre el cuidado y conservación de los recursos naturales y de promover el establecimiento de sistemas de producción – conservación en los predios vinculados al proyecto con actividades agropecuarias.

Materiales y métodos

En la Granja ubicada en la vereda Barcelona, en el Municipio de Villavicencio, Meta, Colombia, con coordenadas N4 04.177 W73 35.162 (Figura 1), una altitud promedio de 393 msnm, temperatura promedio de 28° C, topografía plana, precipitaciones anuales entre los 3000 mm y 4500 mm por año y una humedad relativa del 70%, se desarrolló la siguiente metodología:

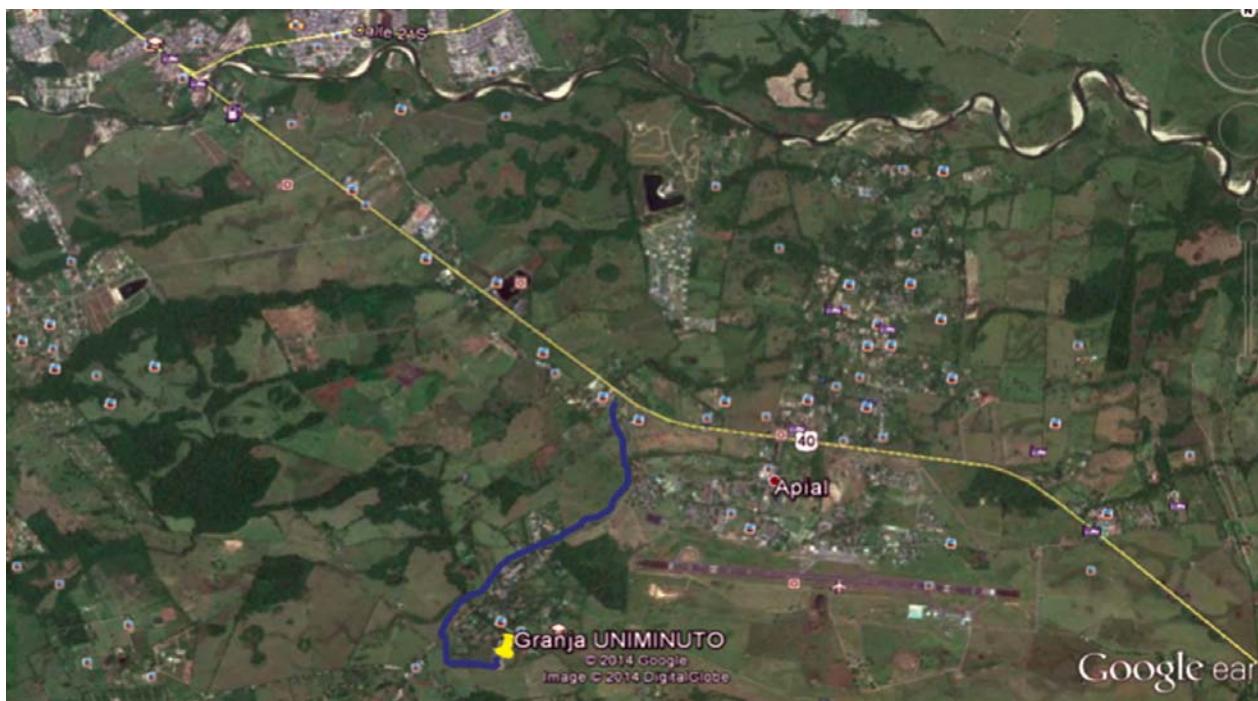


Figura 1. Localización Geográfica Granja Agroecológica Uniminuto

Fuente: Google Earth 2013

El área total del estudio es de 1214 ha y un total de 5,8 km lineales, en los cuales se incluyeron 9 predios, donde se consideró su denominación real y su área en ha, discriminadas así: predio las delicias 360 ha; Loreto: 100 ha; Club gana-

dero: 1,5 ha; Hacienda Barcelona: 700 ha; Villa las Flores: 0,625 ha; Granja Agroecológica Uniminuto: 5 ha; Cascarota: 23 ha; Granja Unillanos: 22 ha; El vivero 2 ha; para un total de 1214 ha (ver Tabla 1 y Tabla 2).

Tabla 1. Ubicación georreferenciada del área de estudio.

Costado Noroccidental		
Desde coordenadas	Hasta coordenadas	Localización
4°04'43.97"N	4°02'34.11"N	Parche de bosque de Apiay
73°34'39.37" O	73°36'08.48" O	
Altitud 380 msnm	Altitud 395 msnm	
Costado Sureste Hacienda Barcelona		
Desde coordenadas	Hasta coordenadas	Localización
4°02'34.11"N	4°03'05.35"N	Extremo sur este
73°36'08.48" O	73°33'25.40" O	Hacienda Las Delicias
Altitud 395 msnm	Altitud 370 msnm	
Costado Noreste Finca Club Ganadero		
Coordenadas inicio	Coordenadas final	Predio
4°03'05.35"N	4°04'20.70"N	Granja Agroecológica
73°33'25.40" O	73°33'47.92" O	Uniminuto
Altitud 370 msnm	Altitud 371 msnm	

Tabla 2. Transectos georreferenciados del área de estudio

Transecto 1		
Coordenadas inicio	Coordenadas final	Predio
4°03'37.57"N	4°03'39.48"N	Hacienda Barcelona
73°34'45.94" O	73°34'48.76" O	
Altitud 388 msnm	Altitud 389 msnm	
Transecto 2		
Coordenadas inicio	Coordenadas final	Predio
4°04'20.73"N	4°04'19.10"N	Granja Agroecológica
73°35'08.16" O	73°35'05.26" O	Uniminuto
Altitud 388 msnm	Altitud 389 msnm	
Transecto 3		
Coordenadas inicio	Coordenadas final	Predio
4°04'28.98"N	4°04'26.52"N	Finca Club Ganadero
73°34'44.06" O	73°34'41.83" O	
Altitud 387 msnm	Altitud 388 msnm	

Nota: los puntos corresponden al punto inicial y punto final de cada transecto.

The Nature Conservancy (McCormick, 2007) ha desarrollado y aplicado una metodología que provee las bases científicas y métodos analíticos al investigador, los cuales permiten definir cómo y dónde conservar y de igual forma, permite medir la efectividad de los procesos que se emprendan. Esta metodología se apoya en cuatro principios a saber; establecimiento de metas y prioridades, desarrollo de estrategias, toma de acciones y medición de resultados.

Para la fase del establecimiento de metas y prioridades, se recolectó la información primaria de los productores, actores ambientales y sociales del área de influencia directa del proyecto y simultáneamente, se realizaron actividades de campo para explorar los componentes de flora y fauna,

factores asociados a la conectividad, fragmentación y biodiversidad presentes. Esta fase se desarrolló mediante cuatro etapas:

I. Aproximación a los índices relativos de flora y fauna.

Aquí se integró la comunidad en procesos de recolección de información primaria para identificar las especies de flora y fauna presentes en las áreas del proyecto. Para esto, se realizaron visitas guiadas a los predios, donde se socializó el proyecto en términos de objetivos y metodología propuestos. Dicha información se recolectó a través de entrevistas y encuestas previamente diseñadas en las cuales se buscó identificar la presencia de flora y fauna reconocida por los habitantes en

cada una de las unidades productivas. Adicionalmente se recolectó información relacionada con el área total de los predios explorando las posibles causas de la pérdida de conectividad en los corredores biológicos.

Con esta información se realizó una aproximación a indicadores de abundancia relativa de especies de flora y fauna. Para ello, a partir de fotografías satelitales tomadas del software Google Earth y visitas de campo, se realizó el diseño de transectos en banda, modificados según lo sugerido por Ojasti (2000) Esta actividad se orientó a verificar la información reportada por los habitantes de los predios sobre la presencia de especies de fauna y flora. Adicionalmente, se verificó el estado de los relictos de bosque, parches y corredores biológicos presentes y su relación con biomicrocuenca del río Guayuriba. Se hizo una clasificación de los ecosistemas presentes según Ruiz (2012) y se realizaron nuevas visitas de campo para verificar su existencia y extensión.

Para la identificación de las especies se emplearon dos métodos: el primero incluyó las encuestas para la recolección de la información, donde se indagó sobre las especies (Ruiz, 2012); La segunda estrategia consistió en ejecutar salidas de campo en las cuales se diseñaron transectos en banda modificados y avistamientos con la técnica de parcelas circulares modificadas, metodología mediante la cual se pudo contar individuos en una extensión, detectados alrededor de un punto central y de esta forma, se estimaron las áreas de las cuales proceden los registros. Esta estrategia ha sido empleada con éxito en avistamientos de aves según lo reporta Ramsey & Scott (1981) y Roeder et al. (1987), reportados por Ojasti (2000). A partir de la información recolectada con los productores locales sobre el componente vegetal se realizó un registro fotográfico comparativo mediante herbarios digitales, según el citado por Zita (s.f.). Adicionalmente y como una estrategia para empoderamiento con los productores se les presentó el material fotográfico para reconocer las plantas según su denominación común. De este ejercicio se

obtuvo el listado de especies vegetales presentes en el área de influencia directa del proyecto.

II. Sistematización de la información.

La información recolectada en cada una de las unidades productivas fue sistematizada mediante cuadros de frecuencia y estadística descriptiva; de ellos se ha extraído la lista de especies de flora y fauna y la frecuencia de presentación de especies por predio.

III. Socialización.

En el proyecto, el contacto y participación de la comunidad en cada una de las fases fue fundamental. Un primer momento de socialización se llevó a cabo mediante la realización de las entrevistas en las cuales se exploró la percepción de los propietarios y encargados de las unidades productivas respecto de la presencia de especies de flora y fauna así como del desarrollo del proyecto. Para las estrategias de procesos de restauración forestal se previeron jornadas de trabajo comunitario y socialización de objetivos, estrategias, avances y resultados.

IV. Estrategias de recuperación de los corredores.

Restauración forestal: a partir del análisis de la información recolectada y la clasificación de las coberturas (Ruiz, 2012), se plantea la necesidad de intervenir las áreas mediante varias estrategias de restauración y el restablecimiento de la conectividad en las diferentes unidades productivas. Se establecieron responsabilidades en la consecución y suministro de material vegetal así como la construcción del cronograma de actividades acorde con la disponibilidad de personal.

Se realizaron compromisos para proteger sucesiones ecológicas en áreas denominadas de conservación, en las cuales los productores instalan cercas para evitar el ingreso de ganado o elementos que provoquen la fragmentación (García, 2012), al igual que se evita el uso de guadañas y herbicidas.

Teniendo en cuenta las metas del Plan de Gobierno Departamental (Gobernación del Meta, s.f.), respecto de los compromisos ambientales sobre cambio climático, se realizaron los contactos y gestión necesaria para obtener el material vegetal para iniciar la ejecución de una de las estrategias propuestas, que tiene que ver con la restauración

forestal de corredores, para mejorar y restablecer la conectividad del parche de bosque de la Base Aérea Apiay con el corredor del río Guayuriba. A continuación se presenta la relación de especies forestales (Tabla 3), suministrada por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Minero Energéticos del Meta.

Tabla 3. Especies forestales suministradas por SMARME.

No	Especie	Nombre Científico	Cantidad
1	Igüa	<i>Pithecellobium guachapele</i>	150
2	Yopo	<i>Anadenanthera peregrina</i>	150
3	Ceiba bonga	<i>Ceiba pentandra</i>	100
4	Pan de año	<i>Artocarpus altilis</i>	100
5	Cámbulos	<i>Erythrina poeppigiana</i>	100
6	Guácimo	<i>Guazuma ulmifolia</i>	150
7	Caquín amarillo	<i>No disponible</i>	100
8	Nogal cafetero	<i>Cordia alliodora</i>	100

Fuente: SMARME: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Minero Energéticos del Meta.

Resultados

A continuación se presentan las especies forestales reportadas en las unidades productivas (ver Tabla 4), las cuales tienen mayor presencia en los predios de Granja Unillanos, Granja Uniminuto y hacienda Barcelona. Las especies censadas en el proyecto

hacen parte integral de los corredores biológicos, por eso no se menciona ningún tipo de clasificación específica, solo se ha tenido en cuenta el servicio ecosistémico que presta, ya sea de aprovisionamiento, regulación, cultural o de soporte (Balvaneira, 2012). En la Figura 2 se muestra la distribución de especies forestales por unidad productiva.

Tabla 4. Especies forestales reportadas en las unidades productivas objeto de estudio.

Especie de flora reportada (NC)	Nombre científico
Mango	<i>Mangifera indica</i>
Mandarina	<i>Citrus nobilis</i>
Limones	<i>Citrus limonum</i>
Pinos	<i>Pinus sylvestris</i>
Palmas	<i>Elia Arecaceas</i>
Pomaroso	<i>Eugenia malaccensis</i>

...continuación Tabla 4

Especie de flora reportada (NC)	Nombre científico
Caño fistol	<i>Cassia moschata</i>
Mora	<i>Rubus glaucus</i>
Guarataro	<i>Mouriri huberi</i>
Laurel	<i>Laurus nobilis</i>
Yopo	<i>Anaderanthera gigantea</i>
Samán	<i>Pithecellobium saman</i>
Dormidero	<i>Abies alba</i>
Guamo	<i>Inga heteróptera</i>
Tuno	<i>Axinaea macrophylla</i>
Cucuo	<i>Cuculus canorus</i>
Ceiba	<i>Ceiba sp</i>
Cedro	<i>Cedrela sp</i>
Malagueto	<i>Xilopia aromatica</i>
Yarumo guarumo.	<i>Cecropia peltata</i>
Gualanday	<i>Jacaranda caucana</i>
Flor amarillo	<i>Tabebuia chrysantha</i>
Algarrobo	<i>Ceratonia siliqua</i>
Acacia	<i>Acacia sp</i>
Bambú	<i>Bambusa vulgaris</i>
Casco de vaca	<i>Bauhinia variegata</i>
Ficus	<i>Ficus benjamina</i>
Igua	<i>Pithecellobium guachapele</i>
Botón de oro	<i>Ranunculus bullatus</i>

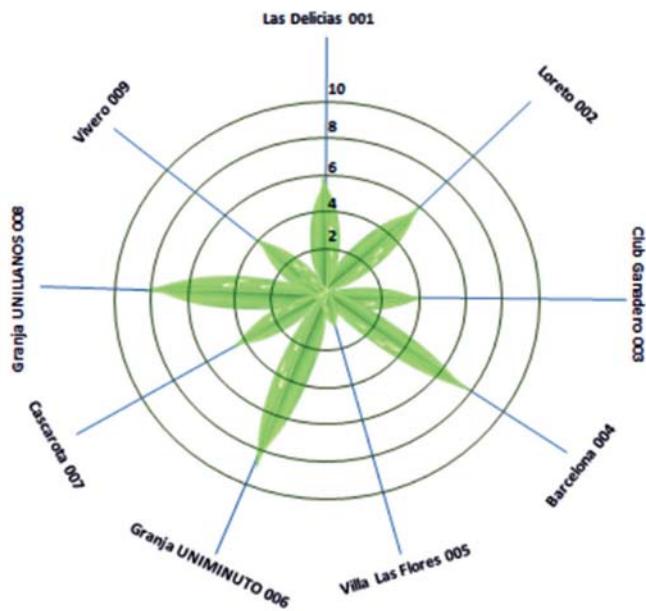


Figura 2. Distribución de especies forestales por unidad productiva objeto de estudio

En las Tablas 5, 6 y 7 se muestran las especies de mamíferos, aves y reptiles encontrados en la zona de estudio. En la Figura 3 se observan las especies de fauna reportadas para las unidades productivas objeto de estudio

Tabla 5. Especies de mamíferos reportadas en las unidades productivas objeto de estudio.

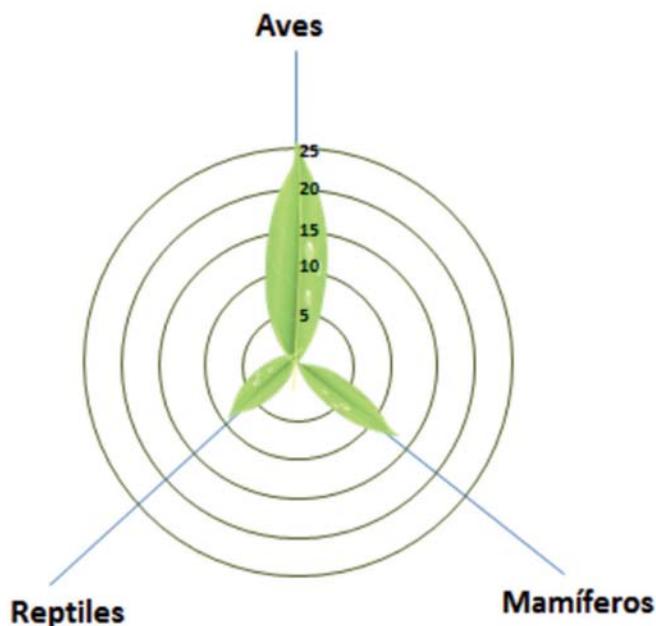
Especie de mamíferos reportados (NC)	Nombre científico
Zorro	<i>Cerdos cyonthous</i>
Oso palmero	<i>Mirmecophaga tridactyla</i>
Mono araguato	<i>Alouata seniculus</i>
Ardillas	<i>Scirius granatensis</i>
Cachicamo	<i>Daisypus sp</i>
Titi ornamentado, okay	<i>Callicebus ornatus</i>
Puerco espino	<i>Histryx pumila</i>
Venados	<i>Odocoileus virginianus</i>
Oso mielero	<i>Tamandua tridactyla</i>
Chucha	<i>Didelphis marsupialis</i>
Perro de agua	<i>Lontra longicaudis</i>
Perezoso	<i>Choloepus didactylus</i>
Erizo	<i>Erinaceus sp</i>

Tabla 6. Especies de aves reportadas en las unidades productivas objeto de estudio.

Nombre Común	Nombre científico
Golondrinas	<i>Progne sp (subis)</i>
Pericos	<i>Brotogeris jugularis</i>
Ciriguelos	<i>Crotophaga (ani o major)</i>
Azulejos	<i>Passerina cyanea</i>
Arrendajos	<i>Casicus cela</i>
Canarios	<i>Serinus canaria</i>
Colibrís	<i>Familia Trochilidae</i>
Garza ganadera	<i>Bubulcus ibis</i>
Guacharacas	<i>Ornithodoris ruficauda</i>
Pechi amarillo	<i>Tolmomyias flaviventris</i>
Alcaravanes	<i>Burhinus bistriatus</i>
Loros carisucio	<i>Aratinga pertinax</i>
Chorolas	<i>No identificadas</i>
Pechiblancos	<i>No identificadas</i>
Carpinteros	<i>Melanerpes sp; Dryocopus sp</i>
Tucán	<i>Ramphastus tucanus</i>
Abuelitas	<i>Genero Columbidos</i>
Chulos	<i>Coragyps atratus; Cathartes aura</i>
Mirla embarradora	<i>Turdus ignobilis</i>
Chilaco	<i>Aramides cajenea</i>
Aguilas	<i>No identificadas</i>
Pímparos	<i>Pitangus sulfuratus</i>
Pollo de monte	<i>No identificado</i>
Caica	<i>Vanellus chilencis</i>
Loro real	<i>Amazona ochrocephala</i>

Tabla 7. Especies de reptiles reportadas en las unidades productivas objeto de estudio

Nombre común	Nombre científico
Serpiente cuatro narices	<i>Bothrops sp</i>
Serpiente coral	<i>Micrurus sp</i>
Iguanas	<i>Iguana iguana</i>
Lagartijas	<i>Anolis sp</i>
Garipiare	<i>Tupinambis teguixin</i>
Cazadora verde	<i>Chironius sp</i>
Güíos	<i>Boa constrictor c.</i>
Babilla	<i>Caiman crocodilus c.</i>
Cachirre	<i>Paleosuchus sp.</i>

**Figura 3.** Especies de fauna reportadas para las unidades productivas objeto de estudio.

Para las especies de fauna identificadas se registró información relacionada con el comportamiento, desplazamiento y presencia de especies, particularmente mamíferos, aves y su relación con el componente forestal. Se determinaron zonas de alimentación para la especie *Callicebus ornatus*, (*Mico okay*) (Bueno, 2010) el cual en compañía del grupo social se desplaza a través de las instalaciones de la Universidad de los Llanos para

alimentarse en la zona de reserva de la Granja Uniminuto. Esto evidencia un alto nivel de adaptación de esta especie, situación que es posible determinar por las distancias de fuga con respecto al observador, la cual en algunos casos no supera los 12 m.

Respecto a la presencia de aves, se constituye en el grupo taxonómico con mayores registros

indistintamente de las unidades productivas. Usan principalmente flores, frutos y semillas para su alimentación, así como troncos para su reproducción. Estos datos permiten afirmar que si bien existe un alto nivel de intervención en los relictos de bosque y corredores biológicos, es notable la resiliencia de los ecosistemas de acuerdo a lo expresado por Hernández (2009) y un alto grado de adaptación de las especies a los cada vez más frecuentes cambios en la cobertura vegetal, la cual está asociada a otros factores como cambio en el uso del suelo, construcción de viviendas y obras de infraestructura como vías.

Las especies forestales prestan el soporte alimentario y sustrato para la movilidad y la reproducción a la mayoría de especies animales, existiendo un alto nivel de dependencia de la supervivencia de las especies de fauna. Con el sustrato forestal de acuerdo con lo expresado por García (2012), aspecto integrado al manejo comunitario el cual se basa en la adquisición y comunicación de la información mediante estrategias que logran hacer que la población directamente afectada implemente el manejo de las poblaciones de fauna a través de su conservación. Paralelamente, la investigación y la promoción agroforestal con énfasis en los servicios ecosistémicos y recursos agroforestales, suministra información sobre el mejoramiento de hábitats de fauna silvestre y la efectividad de las estrategias de manejo. (Bodmer & Puertas, 2000).

Las especies forestales reportadas toman gran importancia pues hacen parte de las intrincadas redes tróficas, de relaciones simbióticas, parásitarias y son sustrato para el desarrollo de la trama de vida local; de ahí la importancia de conservarlas e incluirlas en el fortalecimiento de los corredores en las fincas de los productores objeto de intervención. (Noss, 2006).

Como producto de la fase establecimiento de metas y prioridades se resalta el diseño del trazado de los corredores biológicos mediante acuerdo de voluntades con los productores de los predios, sobre los cuales se desarrollan las iniciativas de

restauración forestal, lo cual permitirá mejorar la movilidad de las especies de fauna silvestre, mejorar el microclima local, aumentar la oferta de los servicios ecosistémicos de la zona, entre otros.

Discusión

La información aquí presentada respecto de los hallazgos en los temas de flora y fauna y el estado de conservación o afectación de los ecosistemas locales, permite afirmar según lo descrito por McCormick, (2007), que la integración de factores determinantes en la intervención de los ecosistemas exige una alta responsabilidad de la participación comunitaria como una apropiación del modelo metodológico en el éxito de programas de conservación, el cual debe ser constante y retroalimentado de manera permanente.

Si bien se concluye que existe un alto nivel de intervención humana en los corredores biológicos y relictos boscosos, es notable la resiliencia de los ecosistemas en concordancia con lo propuesto por Hernández (2009) y un alto grado de adaptación de las especies a los cada vez más frecuentes cambios en la cobertura vegetal, manifiestos en la pérdida de conectividad observados en las salidas de campo, donde también es notable la disminución de las distancias de fuga (distancia entre el observador y el espécimen) de especies de primates, caso puntual *callicebus ornatus*, especie cuyos individuos hacen uso de cuerdas y techos para su desplazamiento a las zonas de alimentación ubicadas en la Granja Agroecológica Uniminuto, mostrando un alto nivel de adaptabilidad, lo cual pudo ser positivo para la supervivencia de la especie.

Respecto del establecimiento de metas y prioridades. McCormick (2007) en el fortalecimiento de los corredores biológicos, se comprueba que es necesaria la directa participación de los productores de las unidades productivas intervenidas, dado que ellos son los primeros beneficiados con el uso de los servicios ecosistémicos (Balvanera, 2012), pero

también en el caso de los fracasos son ellos quienes deben asumirlo. Es importante resaltar que aun existiendo mucha información sobre la conservación y particularmente sobre los efectos ambientales producto del cambio climático, del régimen de lluvias y de especies tanto de fauna como de flora en vía de extinción, aún existe resistencia por parte de algunos productores para adoptar estas estrategias de conservación y restauración ecológica, además se identifican ciertos mitos respecto de los sistemas de conservación, por parte de los productores los cuales deben ser tenidos en cuenta en los proceso de conciliación de los acuerdos para el establecimiento de las metas.

Como resultado de la implementación de estrategias, se tiene la adopción de la especie de primate *Callicebus ornatus* conocido como titi ornamento u okay, como especie bandera del semillero de investigación ASOC, Agroecosistemas sostenibles de la Orinoquia, el cual será promovido a través de chalecos y cachuchas las cuales llevarán este distintivo como una forma de visibilizar la especie y dar a conocer a la comunidad la importancia de la conservación de este recurso en la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos. También se prevé la socialización y masificación de esta estrategia con los actores de la gestión en el área de influencia directa del proyecto.

Conclusiones

Existe un alto nivel de intervención de las comunidades en los relictos, parches de bosques y corredores biológicos, lo cual se evidencia por la pérdida de conectividad y el encerramiento de algunas especies, como es el caso de los primates. Adicionalmente es notable la construcción de obras de infraestructura que afectan de manera colateral los recursos y los servicios ecosistémicos.

Existe acuerdo en la adopción de la metodología de The Nature Conservation, para desarrollar la intervención en la comunidad y los ecosistemas con propósitos de conservación; esta metodología

en la práctica ha demostrado ser una herramienta adecuada y pertinente para el establecimiento de metas y prioridades.

Es posible a partir del listado de especies de flora y fauna (aves, mamíferos y reptiles) determinar que a pesar del alto grado de intervención, algunas de estas especies exhiben un gran nivel de adaptación a las nuevas y particularmente cambiantes condiciones.

Finalmente, se decide iniciar el registro de la Granja Agroecológica Uniminuto como Reserva Natural de la Sociedad Civil “Rafael García Herreros”. Este proceso empieza a partir del resultado de este proyecto ante Parques nacionales y se adoptará como estrategia de conservación de áreas propias y vecinas. Con esta certificación se definirán exactamente las zonas de conservación, de amortiguación y manejo especial, de agroecosistemas, uso intensivo e infraestructura.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Corporación Universitaria Minuto de Dios por facilitar los medios para hacer investigación especialmente en el área ambiental; a la Gerencia Ambiental y Minero Energética, dependencia de la Gobernación del Meta por el suministro del material vegetal.

Literatura citada

1. Balvanera, P. (2012). Asociación Española de Ecología Terrestre. AEET Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. Recuperado de <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=709>.
2. Bodmer, R. & P. Puertas. (2000). Community Based Co-Management of Wildlife in the Peruvian Amazon, en: J. Robinson and L. Bennet (eds.): Hunting of Tropical Wildlife, University of Chicago Press. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/brevistas/biologia/v07_n2/biblio_impor_mane.htm
3. Bueno. M. &, Defler T. (2010). Aportes citogenéticos en el esclarecimiento de la taxonomía del género *Callicebus*. Orinoquia 14 sup (1):139-152.

4. Cardenal, L (2002). Proyecto para la Consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano. El Corredor Biológico Mesoamericano: una plataforma para el desarrollo sostenible regional/ Proyecto para la consolidación del Corredor Biológico Mesoamericano. 1a ed. Managua: Proyecto Corredor Biológico Mesoamericano, 24p.
5. Hernandez. E. L. & Chacón. J. P. (2013). Nuevo registro de *Myrmecophagatridactyl* para el departamento de Córdoba, Colombia con anotaciones. Sobre comportamiento agonístico interespecífico Grupo de Biodiversidad Unicordoba, Facultad de Ciencias Básicas. Departamento de Biología. Universidad de Córdoba.
6. García, J. R. (2012). Amazonia Posible y Sostenible. Corredores Biológicos en la Amazonía Colombiana: Estado actual, amenazas y sostenibilidad. Bogotá, Colombia. CEPAL.
7. Gobernación del Meta (s.f.). Plan de Desarrollo Juntos Construyendo Sueños y Realidades 2012 – 2015. Recuperado de: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:cMikP0nWUBkJ:www.meta.gov.co/es/plan-de-desarrollo/+&cd=1&hl=es&ct=clnk>
8. Gurrutxaga. M. & Lozano V .P. (2008). Ecología del Paisaje. Un marco para el estudio integrado de la dinámica territorial y su incidencia en la vida silvestre. P. 524.
9. Hernández, B. M. (2009). La resiliencia de los ecosistemas, clave para el desarrollo sostenible. *Revista CE-GESTI*, Volumen. 9
10. Matteucci, S.D. (2014). El análisis regional desde la ecología. Sistemas Ambientales Complejos: herramientas de análisis espacial. Colección CEA Nº 21; EUDEBA, Buenos Aires; pp 117-150.
11. McCormick, S. (2007). The Nature Conservancy, Diseño para la Conservación. Un marco estratégico para el desarrollo de la Misión.
12. Noss, R. F. & Daly, K. M. (2006): "Incorporating connectivity into broad-scale conservation planning", en Crooks, K. y Sanjayan, M. (eds.), *Connectivity Conservation*, Cambridge. University Press, Cambridge, pp. 587-619.
13. Ojasti J. & Dallmeier, F. (ed.). (2000). Manejo de Fauna Silvestre Neotropical. SI/MAB. Series # 5. Smithsonian Institution /MAB Biodiversity Program, Washington. D.C.
14. Ruiz O., C., Cardona, H. & Duque, J. L. (2012). Corredores biológicos una estrategia de recuperación en paisajes altamente fragmentados. Estudio de caso Micocuenca La Bolsa, municipio de Marinilla. *Gestión y Ambiente*, vol. 15, núm. 1, febrero-mayo, 2012, pp. 7-18
15. Zita, G. (s.f.). Metodología para el envío y preservación de plantas. Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. Universidad Autónoma de México. Recuperado de: <http://www.agricolaunam.org.mx/malezas/Zita%20Preservacion%20de%20plantas.pdf>

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

| Recibido: 15 de julio de 2014
Aceptado: 7 de septiembre de 2014

Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia

Characterization of three indexes of cocoa harvest of the clones CCN51, ICS60 and ICS 95 in the santandereana mountain, Colombia

Caracterização dos três índices de colheita de cacau do clones CCN51, ICS60 e ICS 95 na montanha Santander, Colômbia

**Lucas Fernando Quintana Fuentes¹, Salomón Gómez Castelblanco²,
Alberto García Jerez³ & Nubia Martínez Guerrero⁴**

¹ingeniero de Alimentos, Especialista en Dirección de Empresas, Magister en Ingeniería en Sistemas de Calidad y Productividad. ²ingeniero de Alimentos, Especialista en Control y Calidad de Alimentos.

³Biólogo, Especialista en química ambiental, Magister en Desarrollo sostenible y medio ambiente.

⁴Ingeniera Agrónoma. Magister en Ciencias Agrarias.

^{1,2,3} Grupo de Investigación GIA. Programa de Ingeniería de Alimentos. Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingenierías. Universidad Nacional Abierta y a distancia UNAD. Carrera 27#40-43 Bucaramanga. Colombia.

¹lucas.quintana@unad.edu.co, ²salomon.gomez@unad.edu.co,

³alberto.garcia@unad.edu.co, ⁴nubiamartinezg@yahoo.es

Resumen

En Colombia la región con mayor producción de cacao es la denominada montaña santandereana, que se ubica entre los pisos térmicos cálido y templado donde se cultiva cacao entre los 200 a 1200 msnm. en los departamentos de Santander y Norte de Santander. Esta investigación surge como una necesidad de la Federación nacional de cacaoteros, Fedecacao, con el propósito de construir herramientas que permitan a futuro tomar decisiones sobre el manejo poscosecha del fruto, buscando una mejora continua de la calidad e incrementando así la competitividad en los mercados. El objetivo fue evaluar tres variables: índice de mazorca, índice de grano y porcentaje de cascarilla, según la Norma Técnica Colombiana 1252, en tres franjas altitudinales de la montaña san-

tandereana, para tres clones introducidos: CCN 51, ICS 60 e ICS 95. El seguimiento y análisis de las tres variables se registró en dos cosechas denominadas principal e intermedia, en tres fincas para cada franja altitudinal y en los tres clones. Se determinó la manera cómo esta condición influye en el resultado de estas variables relacionadas con el rendimiento y la calidad, mediante la evaluación de los datos obtenidos a través de métodos estadísticos de correlación y de determinación, estableciéndose que no hay diferencias significativas que permitan concluir que la altitud influye en estas variables de calidad.

Palabras clave: cacao, índices, clon, calidad, franja altitudinal.

Abstract

In Colombia the region with the greatest production of cocoa is the so-called santandereana mountain, which is located between the thermal floors warm and temperate where cocoa is cultivated between 200 to 1200 msnm in the departments of Santander and Norte de Santander. This research arises as a need for the national federation of cocoa, Fedecacao, with the purpose to build tools that enable future take decisions on the postharvest handling of the cocoa, looking for a continuous improvement of the quality and also increase competitiveness in the markets. The objective was to evaluate three variables: index of cob, index of grain and percentage of husk, according to the Colombian Technical Standard 1252, into three altitudinal bands of the mountain Santandereana, for three clones introduced: CCN 51, ICS 60 and ICS 95. The monitoring and analysis of the three variables was recorded in two harvests called main and intermediate, on three farms for each altitudinal band and in the three clones. It was determined how this condition affects the outcome of these variables related to the performance and quality, by evaluating the data obtained through statistical methods of correlation and determination, with the stipulation that there are no significant differences that could lead to the conclusion that the altitude has an impact on these quality variables.

Keywords: cocoa, indexes, clone, quality, altitudinal band

Resumo

Na Colômbia, a região com a maior produção de cacau é chamado, montanha santander, que fica entre as zonas climáticas quentes e temperadas, onde o cacau é cultivado entre 200 a 1200 metros acima do nível do mar, nos departamentos de Santander e Norte Santander. Esta pesquisa vem como uma necessidade da Federação Nacional de cacau, Fedecacao, a fim de construir ferramentas para permitir futuras decisões sobre o manuseio pós-colheita dos frutos, à procura de uma melhoria contínua da qualidade e aumentando a competitividade do mercado . O objetivo foi avaliar três variáveis: índice de vagem, índice e percentuais de casca. De acordo com a Norma Técnica Colombiana 1252, em três faixas de altitude das montanhas Santander, três clones introduzidos: CCN 51, ICS 60 e ICS 95. A monitorização e análise das três variáveis foi gravada em duas colheitas chamadas primária e intermediária, em três fazendas para cada faixa de altitude e os três clones. Determinou-se como esta condição afeta o resultado dessas variáveis relacionadas ao desempenho e qualidade através da avaliação de dados obtidos através de métodos estatísticos de correlação e determinação, estabelecendo que não existem diferenças significativas para concluir que o altitude afeta estas variaveis de qualidade.

Palavras-chave: cacau, índices, clone, qualidade, faixa altitudinal

Introducción

En Colombia la región con mayor producción de cacao es la denominada montaña santandereana, la cual se ubica entre los pisos térmicos cálido y templado, altura óptima en donde se cultiva el cacao entre los 200 a 1200 msnm, esta región está comprendida por los departamentos de Santander y Norte de Santander (Fedecacao, 2012).

Esta investigación surge como una necesidad del gremio de cacaoteros que asociados en la Federación nacional de cacaoteros, Fedecacao, y con el propósito de construir herramientas que permitan a futuro tomar decisiones sobre el manejo poscosecha, buscando una mejora continua de la calidad del fruto e incrementando así la competitividad del fruto en los mercados.

La zona objeto de estudio, está ubicada en el municipio de San Vicente de Chucuri, departamento de Santander, Colombia. Este departamento se considera el mayor productor de cacao del país, ya que contribuye con un 37% de la producción nacional, también cuenta esta zona con la posibilidad de tener producción en una franja altitudinal que va desde los 200 msnm a los 1300 msnm. La economía agropecuaria chucureña se ha basado históricamente en el sistema productivo del cacao y en menor proporción del café. El cultivo del cacao en esta región corresponde a un tipo de explotación de economía campesina, se desarrolla sobre todo en fincas de mediana y pequeña propiedad. El nivel tecnológico de este cultivo oscila entre

medio a bajo. El sistema de producción se caracteriza por la interacción de varias especies dentro del mismo arreglo tales como aguacate, cítricos y plátano. El sistema de siembra con sombrío es una práctica de conservación que permite aprovechar mejor los suelos y el agua. Adicionalmente, los clones de cacao objeto de esta investigación se encuentran presentes en todas las veredas del municipio de San Vicente de Chucuri, y han sido recomendados por entidades como Fedecacao por sus características productivas, se tiene que el clon CCN 51 cuenta con un 25% de participación, el ICS 60 con un 14% y el ICS 95 con un 25%, de la producción del departamento, como se muestra en la Figura 1 (Rincón, 2007; Corpoica, 2000).

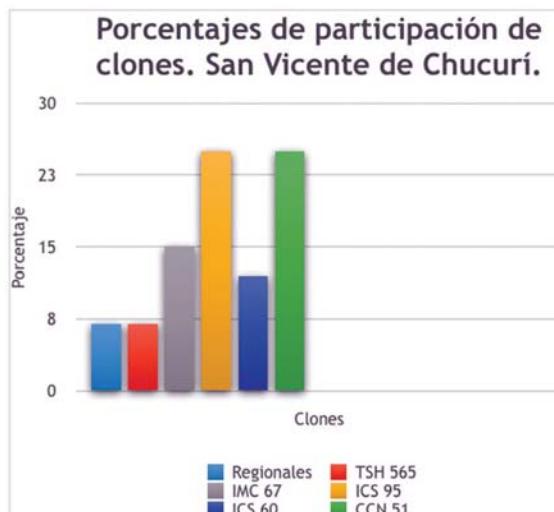


Figura 1. Producción de los clones de cacao del municipio de San Vicente de Chucurí.

Fuente: Censo cacaotero 2007.

En las zonas productoras de cacao el nivel de productividad se mide por el rendimiento agronómico, siendo el ideal 1500 kg ha⁻¹, valor con el cual se logra el punto de equilibrio y se hace rentable la producción; en Colombia esta producción se encuentra alrededor de los 450 kg ha⁻¹, resultando muy poco productivo a pesar de tener una alta superficie plantada de 100.000 ha, como principales causas de esta baja producción se consideran el bajo número de árboles por ha, la baja fertilidad del material genético y la edad avanzada de los cultivos. (Industria y comercio superintendencia, 2012)

La importancia de los clones seleccionado, en cuanto a productividad, resistencia a enfermedades y calidad sensorial es algo a resaltar y al evaluar los índices de mazorca, índice de grano y porcentaje de cascarilla se potencia su aprovechamiento en todo el país, teniendo en cuenta que el cacao es un cultivo que beneficia principalmente a comunidades campesinas y a pequeños productores. (Montoya *et al.*, 2015)

Adicionalmente a esto se tiene que la comercialización del grano para plantas productoras de

licor de cacao o chocolate se ve afectada por los rendimientos que puede dar el grano en cuanto a su tamaño o índice de grano y a su porcentaje de cascarilla, índices que una vez procesados los granos afectan los rendimientos al interior de la planta procesadora. (Baena & García, 2012)

La cascarilla es un alto porcentaje (11-14 %) de residuo en las plantas procesadoras de cacao tanto en Colombia como a nivel mundial. Actualmente han aumentado estudios relacionados para este tipo de residuos y su posible utilización, debido a que éstos representan un importante componente de los residuos agrícolas y desechos agroindustriales en el mundo, constituyendo una buena fuente de recursos renovables y energía. (Baena & García, 2012; Ayeni, 2010; Becket, 1998).

Existen tipos de cacao criollo, forastero e híbridos.

El criollo: es el más fino, caracterizado por su agradable sabor y exquisita aroma, susceptible a plagas y enfermedades. El tipo forastero: posee un buen rendimiento en contenido de grasa, es de apariencia amelonada, el sabor es amargo y poco consistente. Los tipos híbridos: son cruce sexual de dos árboles y los clones, pertenecen a un material genético uniforme, derivado de un individuo y propagado solo por medios vegetativos.

El concepto de clon no significa que todas las plantas de un mismo clon, sean idénticas fenotípicamente en todas sus características. El comportamiento de una planta depende de la interacción genotipo-ambiente. En consecuencia, una planta puede variar la apariencia, la producción, los frutos o almendras de acuerdo con el clima, suelo, agua, enfermedades u otras causas. Los clones más conocidos se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura, nombres y origen de los clones de cacao.

CLON	NOMBRE	TIPO GENETICO	AO	ORIGEN
ICS	IMPERIAL COLLEGE SELECTION	HIBRIDO TRINITARIO	1931	TRINIDAD
IMC	IQUITOS MARAÑON COLLECTION	AMAZONICO	1938	PERÚ
UF	UNITED FRUIT CO.	HIBRIDO TRINITARIO	--	TRINIDAD
TSH	TRINIDAD SELECTION HYBRID	SCA 6 X IMC 67	1957	TRINIDAD
TSA	TRINIDAD SELECTION AMAZON	SCA 6 X IMC 67	1957	TRINIDAD
CAP	CENTRO AGROPECUARIO PICHILINGUE	ICS 1 X ICS 6	1955	TRINIDAD
CCN	COLECCIÓN CASTRO NARANJAL	ICS 95 X IMC 67 F1 X CANELO	1965	ECUADOR
EET	ESTACION EXPERIMENTAL TROPICAL	NAL X DESCONOCIDO	1945	ECUADOR
PA	PARINARI	AMAZONICO	1930	PERÚ
P	POUND	AMAZONICO	1943	PERÚ
SCA	SCAVINA	AMAZONICO	1930	PERÚ
PORCELANA	PORCELANA	CRIOLLO		VENEZUELA

Fuente: Fedecacao (2012)

Algunos autores han descrito cambios en los índices de cosecha con la franja altitudinal en donde es cultivado el grano, sin embargo, en el departamento de Santander no se cuenta con referentes de este tipo por lo cual se decidió realizar la presente investigación. El objetivo fue evaluar el comportamiento de tres variables relacionadas con la

producción y características físicas del grano de cacao, según la Norma Técnica Colombiana 1252 (Tabla 2), como son el índice de mazorca, el índice de grano y el porcentaje de cascarilla en tres franjas altitudinales de la montaña santandereana, para tres clones introducidos: CCN 51, ICS 60 e ICS 95.

Tabla 2. Requisitos del grano de cacao, de acuerdo a la norma técnica colombiana, NTC 1252.

Requisitos
Contenido de humedad en%(m/m)
Contenidos de impurezas o meterías extrañas en %(m/m)
Grano mohoso interno, numero de granos /100 gramos máx.
Granos dañados por insectos y/o germinados, numero de granos /100 gramos máx.
Contenido de pasilla, numero de granos /100 gramos máx.
Contenido de almendra %(m/m), min.
Masa (peso), en g/100 gramos, min.
Granos bien fermentados, numero de granos /100 gramos min.
Granos insuficientemente fermentados, numero de granos /100 gramos máx.
Granos pizarrosos, numero de granos /100 gramos máx.

Fuente: Norma Técnica Colombiana, NTC 1252.

Materiales y métodos

El modelo estadístico adoptado en el proceso fue al azar, realizado en tres franjas altitudinales la primera comprendida entre los 200-500 msnm, la segunda entre los 501-800 msnm y la tercera entre los 801 -1200 msnm, con tres repeticiones en 3 fincas por cada franja altitudinal. Para un total de 9 unidades experimentales, en dos cosechas principal e intermedia, evaluando las variables siguientes el índice de mazorca, índice de grano y porcentaje de cascarilla. Los genotipos seleccionados CCN 51, ICS 60 e ICS 95 son los materiales de mayor presencia en los diferentes pisos altitudinales del municipio de San Vicente de Chucuri.

Análisis físico de las muestras

De acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1252 se realizaron los siguientes análisis:

Índice de mazorca

Se procede a pesar el total de la muestra seca, y teniendo en cuenta que cada muestra se realizó con 20 mazorcas, se halla el número de mazorcas que se necesitan para obtener un kg de cacao seco para cada uno de los clones (Fedecacao, 2004; Stevenson & Corven, 1993)

Índice de grano

Se tomaron cuatro muestras de 100 granos escogidos al azar, se pesó cada sub-muestra y se calculó un promedio de las cuatro, este promedio se dividió en 100 y el valor fue el índice de grano de cada una de los clones (Icontec, 2003; Stevenson & Corven, 1993).

Porcentaje de cascarilla

De cada muestra se tomaron y pesaron 50 granos, a los cuales se les retiró la cascarilla y se colocaron en recipientes separados cascarilla y cotiledón, posteriormente se pesaron cascarilla y cotiledón, con estos datos se halló el porcentaje de cascarilla teniendo en cuenta el dato del peso inicial de los 50 granos (Fedecacao, 2004; Ica, 2003; Stevenson & Corven, 1993).

Selección de Fincas y muestreo

Se identificaron y geo-referenciaron las fincas de cada franja altitudinal donde se encontraron

los tres materiales propuestos (Figura 1). Los materiales fueron transportados hasta la Granja Villa Mónica de propiedad de Fedecacao ubicada en el municipio de San Vicente de Chucuri - Santander, donde se realizó el proceso de Poscosecha bajo un mismo protocolo establecido por Fedecacao para todas las muestras, que consistió en la cosecha de sólo mazorcas maduras y sin enfermedades, partido con herramienta adecuada para no causar daño a los granos de cacao y desgranado en recipientes no metálicos y limpios, fermentado en cajón de madera por 144 horas con un primer volteo a las 48 horas y dos volteos seguidos cada 24 horas, una vez fermentados se procede al secado en elba hasta lograr un porcentaje final de humedad del 7% (Fedecacao, 2012)

En el mapa presentado en la Figura 2 se señalan las veredas en donde fueron tomadas las muestras, y en la Tabla 3 se relacionan las fincas correspondientes a cada franja altitudinal en la zona de estudio del municipio de San Vicente de Chucuri.

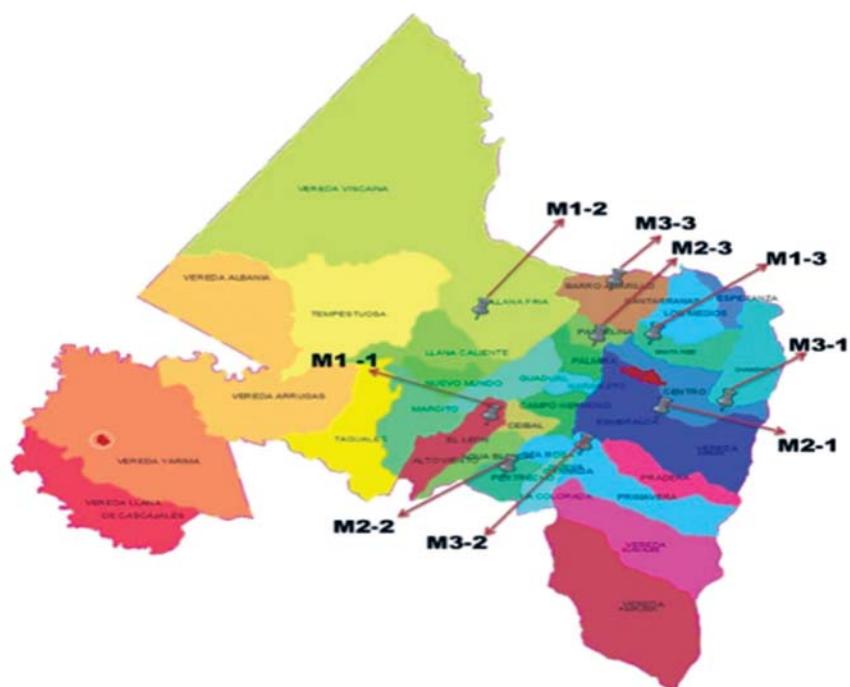


Figura 2. Mapa de zonas de muestreo en el municipio de San Vicente de Chucuri. Santander, Colombia.

Tabla 3. Relación fincas Vs franja altitudinal de la zona de estudio.

Franja altitudinal	Fincas
200 – 500 msnm	Montecarmelo – Marandúa – San Luis
501 – 800 msnm	Villa Mónica – tres aljibes – San Jorge
801 – 1200 msnm	Altamira – Macondo – El Paraíso

Fermentación y Secado

Se cosecharon por cada muestra 20 mazorcas; para el proceso de fermentación, se colocaron los granos de cacao en bolsas plásticas especiales con orificios, que permitieron el drenado de los jugos y el contacto de la muestra con la masa total de fermentación. El manejo de la fermentación se hizo siguiendo las indicaciones de Fedecacao (2004, 2012), que recomienda la primera remoción de la masa a las 48 horas y posteriormente remociones cada 24 horas hasta completar entre 140 y 144 horas de fermentación, en total 4 volteos a las 48, 72, 96 y 120 horas.

El proceso de secado se realizó sobre una estructura de madera, conocida en la región con el nombre de *elba*; para el primer día de secado las

muestras se expusieron al sol por dos horas, haciendo remociones de la masa cada 20 minutos, al segundo día, durante cuatro horas, haciendo remociones cada 20 minutos, para el tercer día durante todo el día, es decir más o menos 8 horas, hasta llegar a una humedad del 7%.

Resultados

Índice de mazorca

Para este índice y de acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 4, se observa que no hay una correlación entre las franjas altitudinales y el índice de mazorca, a excepción del ICS 95 con una correlación negativa, pero al determinar el coeficiente de determinación da una influencia del 31% con lo cual se deduce que no hay relación con la altitud, y que los índices están en los rangos establecidos por Perea *et al.* (2013) en su trabajo de caracterización de cultivares para estos tres clones de cacao.

En la segunda cosecha se mantiene que no hay correlación para los clones CCN 51 e ICS 60, pero en cambio se presenta una correlación negativa para el clon ICS 95, con un porcentaje de influencia de la altura en una 51%. Se concluye entonces que no hay una fuerte influencia de la altura en este índice.

Tabla 4. Índice de correlación para el índice de mazorca.

INDICE DE MAZORCA						
	PRIMERA COSECHA			SEGUNDA COSECHA		
	CCN 51	ICS 60	ICS95	CCN51	ICS60	ICS95
r	0,18	-0,3	-0,56	0,05	0,03	-0,72
r ²	0,03	0,09	0,31	0	0	0,51

Se observa en la Figura 3 que el índice de mazorca más alto lo tiene el ICS 95 debido a su tamaño de grano, Perea *et al.*, 2013 establecieron un

promedio cercano a 20 mazorcas por kg para este clon, se obtuvo un rango para este índice de 19 a 28 mazorcas para obtener un kg de grano seco.

Para el CCN 51 se ha considerado un promedio de 15 mazorcas y en esta investigación se obtuvo un intervalo 14 a 17, a su vez para el ICS 60 un

promedio de 13 mazorcas por su tamaño de grano y se presentó un intervalo 12 a 17 mazorcas por kg de grano seco.

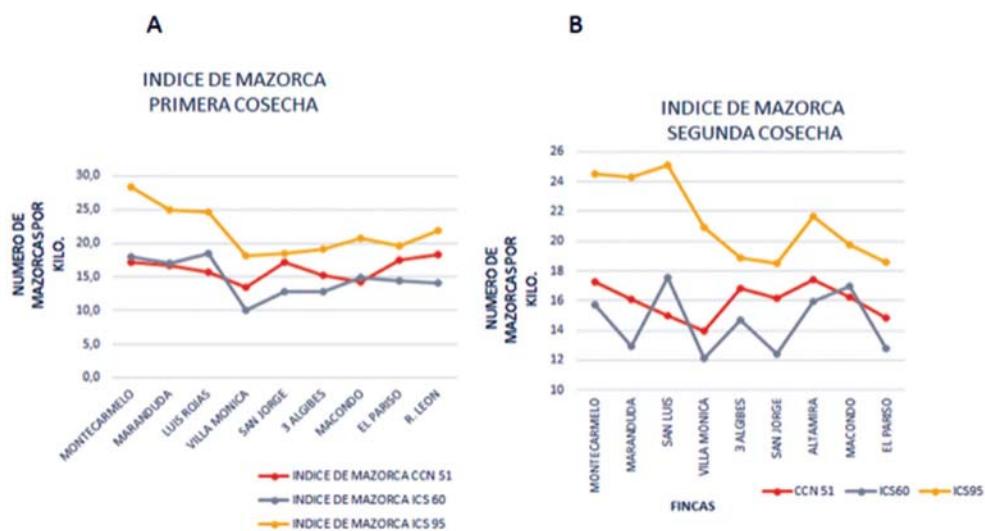


Figura 3. Comportamiento del índice de mazorca para los tres clones de cacao.

Consolidado de las dos cosechas

Al observar la ecuación de la recta en la Figura 4 se determina que hay una relación directa pero con muy baja correlación y con un muy bajo porcentaje de variación de acuerdo al modelo de 2% en la Figura 4 A.

Para el clon ICS60 hay una relación inversa con muy bajo coeficiente de correlación y con un muy bajo porcentaje de variación del 3.16% (Figura 4 B). Al igual que el anterior, el clon ICS95 presenta una relación inversa, con un porcentaje de variación e acuerdo al modelo determinado del 42% (Figura 4 C).

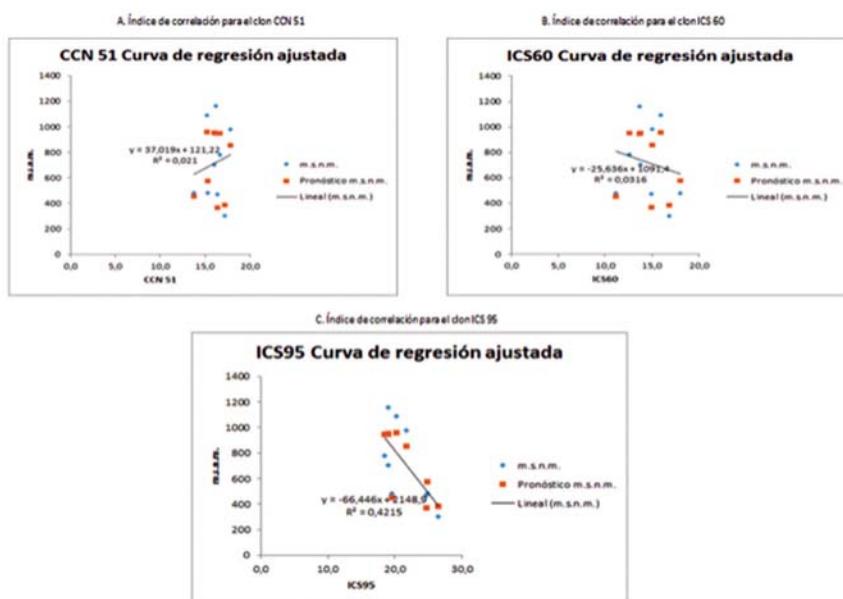


Figura 4. Índice de correlación correspondiente al índice de mazorca, para cada clon.

Índice de grano

En la primera Cosecha en este indicador de calidad física se observa un comportamiento lineal sin influencia marcada por la variable de la altitud (Tabla 5), el máximo porcentaje de influencia es de 29% para el ICS 95, lo que indica que la altitud no influye significativamente en este índice.

dice, por lo tanto en esta primera cosecha no hay correlación entre las franjas altitudinales y el índice de grano.

En la segunda cosecha no se observa correlación marcada, por lo tanto se concluye que no hay influencia de la altitud sobre el tamaño del grano para ninguno de los tres clones.

Tabla 5. Índice de correlación para el índice de grano.

INDICE DE GRANO						
	PRIMERA COSECHA			SEGUNDA COSECHA		
	CCN 51	ICS 60	ICS95	CCN51	ICS60	ICS95
r	-0,14	-0,34	0,54	0,04	0,43	0,28
r ²	0,02	0,12	0,29	0,16	0,18	0,08

Al revisar la Figura 5 se observa que tanto para la Figura 5 A y la 5 B, no hay una tendencia marcada a subir o a bajar con la altitud, se mantienen adicionalmente los resultados dentro de lo establecido para cada clon, en el caso del CCN 51 se ha determinado un índice de grano promedio de 1,6 g

de acuerdo a Perea *et al.*, 2013 encontrándose un rango 1.2 a 1,7 g, para el ICS 60 un grano grande con promedio de 2,3 g y con un rango de 1,5 a 2,4 g y por ultimo para el ICS 95, clon considerado como grano pequeño, un índice promedio de 1,4 g y con un rango de 1.1 a 1,5 g.

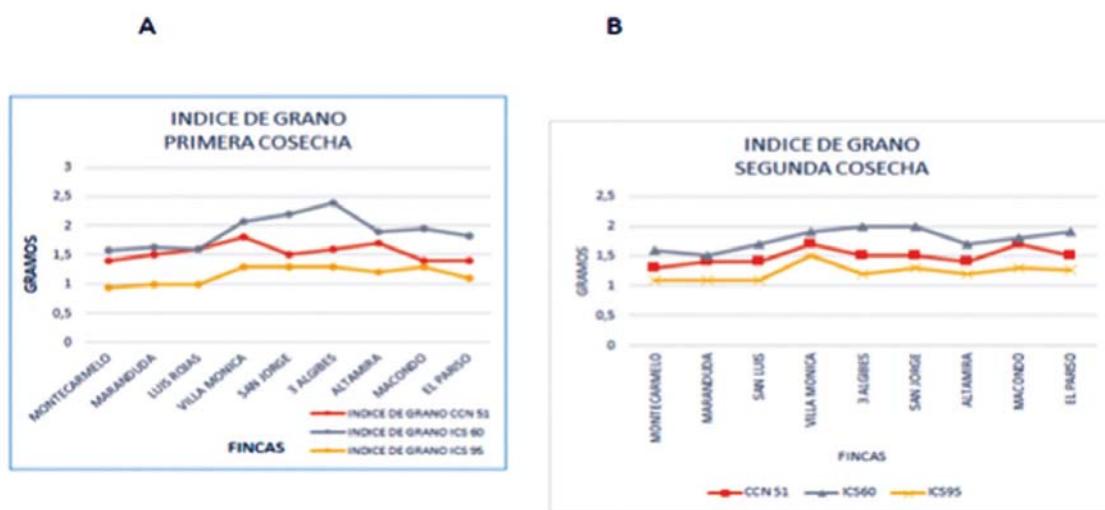


Figura 5. Comportamiento del índice de grano para los tres clones de cacao.

Se puede observar en la gráfica 6 una relación positiva pero de poca significancia con un porcentaje de variación del 1.14% como se observa en el Figura 6 A. En la misma Figura 6 A, para el ICS 60 se tiene una relación positiva y con un porcentaje de variación del 15% que demues-

tra una muy baja correlación como se observa en la Figura 6 B. En tanto, hay una relación positiva pero muy baja, lo que indica que no hay correlación significativa y con un porcentaje de variación del 16.69%, correspondiente al ICS 95 (Figura 6 C).

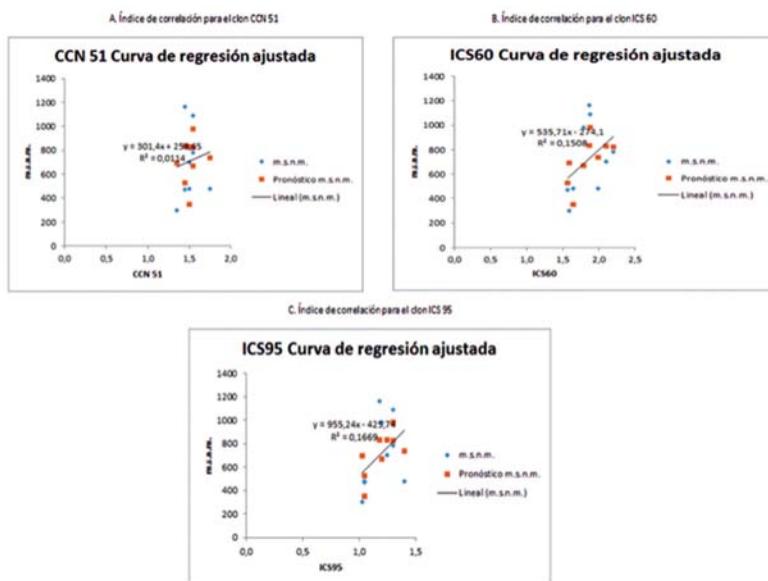


Figura 6. Índice de correlación correspondiente al índice de grano, para cada clon.

Porcentaje de cascarilla

Como se muestra en la Tabla 6, en la primera cosecha el porcentaje de cascarilla observado se mantiene dentro de los porcentajes revisados en Becket (1998), los cuales están dentro de 10% a 14% para granos normales y 16% para granos pequeños tipo ICS 95 o pasilla; para granos con índice de grano mediano o grande se observa que en este caso es inverso al tamaño del grano, a mayor tamaño

menor porcentaje de cascarilla lo cual es de beneficio para el procesador en la producción de licor de cacao. Se observa que el porcentaje de cascarilla no tiene una variación pronunciada con la altitud, se presenta en la segunda cosecha una correlación negativa para el ICS 96 influenciada en un 39%. Se puede concluir que en este caso la altitud no influye y que la variación puede deberse a otras causas.

Tabla 6. Índice de correlación para porcentaje de cascarilla

PORCENTAJE DE CASCARILLA						
	PRIMERA COSECHA			SEGUNDA COSECHA		
	CCN 51	ICS 60	ICS95	CCN51	ICS60	ICS95
r	-0,39	-0,35	-0,37	-0,44	-0,5	-0,62
r ²	0,15	0,12	0,14	0,19	0,25	0,39

Se observa en la Figura 7, un comportamiento con respecto al porcentaje de cascarilla que es inverso al tamaño del grano como esta descrito en el anterior índice, a menor tamaño de grano mayor porcentaje de cascarilla, según la caracterización realizada por Perea *et al.*, 2013 y deZaam, 2009, se tiene que para el ICS 95, el

ICS 60 y el CCN 51 se deben obtener valores promedio entre 11-12% es decir un porcentaje de cascarilla medio. Se observa que para el ICS 95 hay un rango desde el 13 al 16%, para el ICS 60 del 10 al 14% y para el CCN 51 del 12 al 14% siendo este último el más consistente y con menor variación.

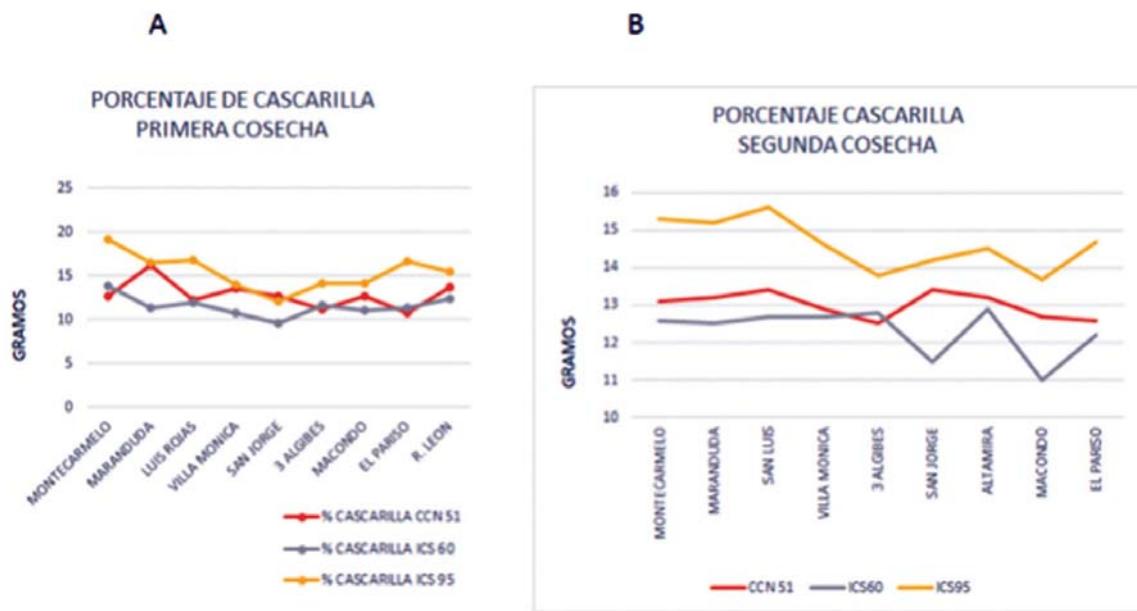


Figura 7. Comportamiento del porcentaje de cascarilla para los tres clones de cacao

La Figura 8 presenta una relación inversa en la Figura 8 A, poco significativa, no hay una relación directa entre la altitud y el porcentaje de cascarilla, con un porcentaje de variación del modelo del 18.03%. Se observa una correlación inversa con un nivel de correlación muy bajo en la Figura 8 B que permite establecer que no hay relación

significativa y adicionalmente con un porcentaje de variación muy bajo del 21.32%.

La correlación es inversa para el clon en la Figura 8 C que arroja una muy bajo porcentaje de variación del 18.44%, por lo cual no hay una relación del porcentaje de cascarilla de acuerdo a la altitud.

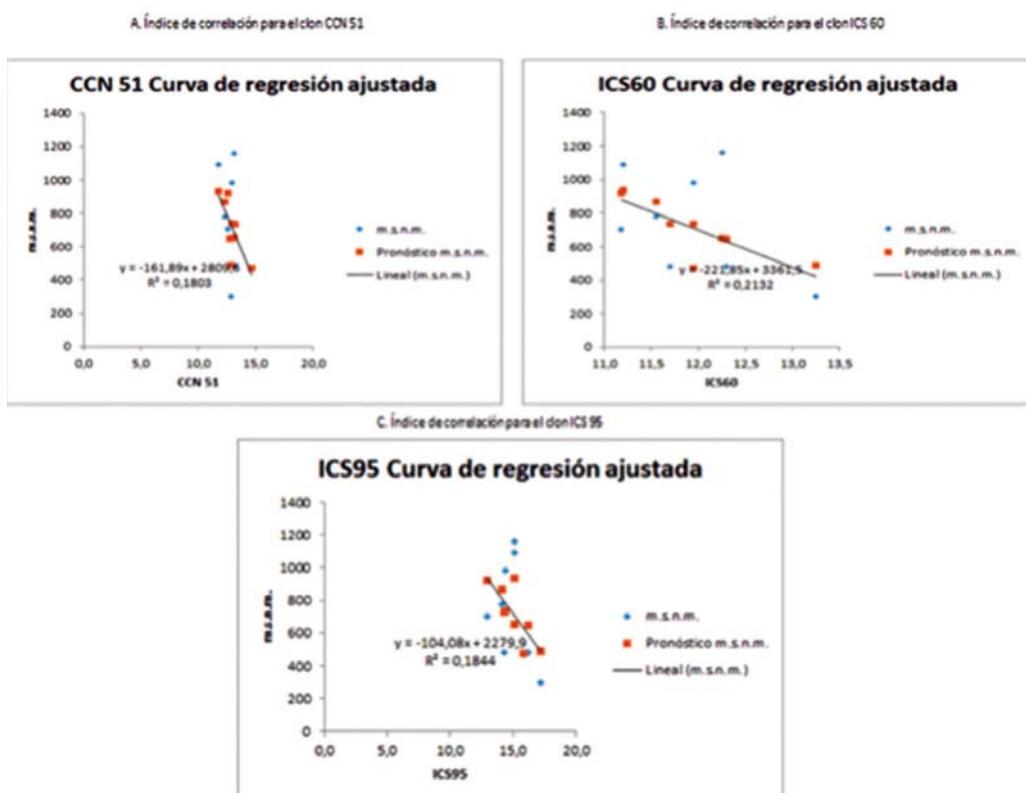


Figura 8. Índice de correlación correspondiente al porcentaje de cascarilla, para cada clon.

Conclusiones

Los clones son parte de la estrategia genética para mejora de los cultivos de cacao, que permite que se adapten a diferentes condiciones ambientales dando como resultado variación en los fenotipos, el fruto y en las características físicas, químicas y sensoriales, que influirán directamente en que este cultivo sea productivo y genere los rendimientos esperados.

Se puede establecer con los resultados obtenidos que para razones de productividad teniendo como referente el índice de mazorca, el clon más productivo sería el ICS 60, siguiendo en su orden el clon CCN 51 con índices aceptables, comprendidos entre 16 y 20 mazorcas por kg como lo establece Perea *et al.* (2013) y como último el clon ICS 95 con un índice aceptable para el cual se necesita un número mayor a las 21 mazorcas para producir un kg de cacao seco.

El índice de grano como segundo factor de productividad estudiado es referente al logro en planta de mayores rendimientos muy importante para los procesos de tostado y molido como lo establece Becket (1993) y para los clones de estudio se puede concluir que son notorias las diferencias, se encuentra al ICS 60 con un índice de grano alto superior a los 1,7 g, el CCN 51 como un clon de índice de grano medio entre 1,4 y 1,6 g, y el clon ICS 95 con un índice de grano bajo inferior a los 1,3 g, esto teniendo en cuenta la clasificación establecida en la caracterización de clones realizada por Perea *et al.*, (2013) y que coincide con los resultados obtenidos.

El porcentaje de cascarilla es un índice de vital importancia para el cálculo de rendimiento en planta, se ha clasificado dentro de los clones con alto contenido de cascarilla al clon ICS 95 con valores superiores al 13%, a los clones ICS 60 y CCN 51

con valores intermedios entre los 11-12%, y efectivamente en los resultados se observa la consistencia con esta clasificación manteniéndose en su orden de mayor porcentaje de cascarilla el ICS 95, ICS 60 y el CCN 51.

En términos generales se puede concluir que en esta investigación se determinó que no hay una influencia significativa en el comportamiento de los tres índices estudiados y que en las condiciones del mismo, el cacao obtenido por clon es consistente en la franja altitudinal de los 200 a 1200 msnm.

Literatura citada

1. Ayeni, L.S. (2010). Effect of Combined Cocoa Pod Ash and NPK Fertilizer on Soil Properties, Nutrient Uptake and Yield of Maize (*Zea mays*). *Journal of American Science*, 6(3), 79-84.
2. Baena, L. & García, N. (2012). Obtención y caracterización de fibra dietaria a partir de cascarilla de las semillas tostadas de *Theobroma cacao* L. De una industria chocolatera Colombiana (Tesis de pregrado) Químico industrial, Universidad Tecnológica de Pereira.
3. Beckett, S.T. (1998). Fabricación y utilización Industrial del chocolate. Editorial Acribia.
4. Corpocaja (2000). Caracterización y tipificación de los productores de Cacao del Departamento de Santander. Bucaramanga. Corpocaja.
5. deZaan (2009). *Cocoa & Chocolate Manual*. 40TH Anniversary edition. Suiza: ADM Cocoa.
6. FEDECACAO. (2004). El beneficio y características físicas y químicas del cacao. Bogotá D.C. Produmedios.
7. FEDECACAO. (2012). Guía técnica para el cultivo del cacao. (Quinta Edición ed.). Bogotá Colombia. Ediciones LCB Ltda.
8. ICONTEC (2003). Norma Técnica Colombiana, NTC 1252. Cacao en Grano. Bogotá D.C. ICONTEC.
9. Industria y Comercio Superintendencia. (2011). Cadena productiva del cacao: diagnóstico de libre competencia. Recuperado de: <http://www.sic.gov.co/drupal/sites/default/files/files/Cacao.pdf>.
10. Montoya, I., Montoya, L. & Lowy, P. Oportunidades para la actividad cacaotera en el municipio de Tumaco, Nariño, Colombia. *Entramado. Enero - Junio, 2015* vol. 11, no. 1, p. 48-59. Recuperado de: <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n1.21107>
11. Perea, A., Martínez, N., Arángazu, F. & Cadena, T. (2013). Características de calidad del cacao en Colombia. Catálogo de 26 cultivares. (Primera Edición ed.). Bucaramanga - Colombia: División de publicaciones UIS.
12. Rincón, Diego (2007). Censo cacaotero de Santander. Bucaramanga. Fedecacao.
13. Sampieri, R., Fernández-Collado, C. & Baptista, L. (2006). Metodología de la Investigación. México, D.F. McGraw-Hill Interamericana.
14. Stevenson, C. & Corven, J. (1993). Manual para el análisis de cacao en el laboratorio. San José, Costa Rica: IICA.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 15 de septiembre de 2014
 Aceptado: 5 de noviembre de 2014

Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia

Community action against the phenomenon of climate change, in the páramo of the Guavio region, Cundinamarca, Colombia

Acção comunitária contra o fenómeno das alterações climáticas, no páramo da região Guavio, Cundinamarca, Colômbia

Sonia Astrid Mendoza Velásquez¹, Juan Guillermo Cano Muñoz² & Fabián Rojas Sánchez³

¹Zootecnista, Pedagogía para el Desarrollo del aprendizaje Autónomo, Magister en Sociología.

²Ingeniero de Agroecología, Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. ³Ingeniero en Agroecología. Especialista en Planeación ambiental y gestión integral de los recursos naturales

¹Escuela de ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente –ECAPMA. Universidad Nacional Abierta y a Distancia –UNAD. Bogotá. Colombia. ^{2,3}Proyecto Agroecología. Parque Científico de Innovación Social – UNIMINUTO. Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO . Bogotá. Colombia.

¹sonia.mendoza@unad.edu.co, ²jcano@uniminuto.edu, ³fabian.rojas@uniminuto.edu

Resumen

El municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia, hace parte de la zona de amortiguamiento del Parque Nacional Natural Chingaza y se caracteriza por poseer una gran variedad de recursos naturales, abundante agua y bosques naturales; sin embargo, presenta un alto grado de contaminación del recurso hídrico y adicionalmente, se ha presentado extinción de la fauna y la flora silvestre, destrucción de los bosques por talas y quemas indiscriminadas. La presente investigación tiene el propósito de documentar el proceso y analizar los resultados de la aplicación de la Investigación Acción Participante IAP como estrategia para la acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, con los campesinos de los centros poblados de Chuscales y Claraval, del municipio de Junín. El IAP utilizó la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) y la cartografía social para el diagnóstico. Se

realizaron sesiones de reflexión y aprendizaje con la comunidad a partir de los resultados. Se concluye que el modelo de IAP permitió identificar los problemas relacionados con la forma tradicional de producir, reducir el uso de agrotóxicos en los cultivos tradicionales, además, se promovió el uso de la agroecología para la producción de alimentos, la creación de huertas comunitarias, arreglos silvopastoriles para la producción de forraje, producción de ganadería lechera, y la siembra de árboles para protección de fuentes de agua. Al mismo tiempo, se impulsó la conformación de la asociación de productores y comercializadores de productos orgánicos con utilización de recursos propios y apoyo gubernamental.

Palabras clave: acción comunitaria, Investigación Acción Participante, mitigación de variabilidad climática, producción agroecológica.

Abstract

The municipality of Junín, Cundinamarca, Colombia, is part of the buffer zone of the Natural Chingaza National Park and is characterized by a variety of natural resources, abundant water and natural forests; however, it has a high degree of pollution within water resources and additionally, presented extinction of fauna and flora, destruction of forests by logging and indiscriminate burning. This research is intended to document the process, and analyze the results of the application of the participant action research (IAP) as a strategy for community action against the phenomenon of climate change, with peasants from the towns of Chuscales and Clairvaux, of the municipality of Junín. IAP uses the evaluation of management systems incorporating sustainability indicators (MESMIS) and the social mapping for the diagnosis. Learning and reflection sessions were conducted with the community as a result. It was concluded that the IAP model allowed to identify the problems associated with traditional ways of production, reduced the use of agrochemicals in traditional crops, in addition, the use of agroecology for food production, promoted the creation of community gardens, arrangements silvopastoral for the production of fodder, production of dairy farming, and the planting of trees for protection of water sources. At the same time, it promoted the formation of the association of producers and traders of organic products through the use of their own resources and of the government support.

Key-words: community action, participatory action research, mitigation of climate variability, agro-ecological production.

Resumo

A cidade de Junin, Cundinamarca, Colômbia, faz parte da zona de amortecimento de Chingaza parque nacional natural é caracterizada por uma variedade de recursos naturais, água abundante e florestas naturais; no entanto, apresenta um alto grau de contaminação dos recursos hídricos e, além disso, apresentou extinção da fauna e da flora selvagens, a destruição de florestas por derrubadas e queimadas indiscriminadas. Esta pesquisa tem como objetivo documentar o processo e analisar os resultados da implementação da pesquisa-ação participativa IAP como uma estratégia de acção comunitária em relação ao fenómeno das alterações climáticas, com os agricultores nas cidades de Chuscales e Claraval no município Junin. O IAP, fez uso de Sistemas de Gestão de Avaliação incorporando Indicadores de Sustentabilidade (MESMIS) e mapeamento social para o diagnóstico. Sessões de reflexão e aprendizagem foram realizadas com a comunidade. Com base nos resultados. Concluiu-se que o modelo de IAP, identificou os problemas associados com a forma tradicional de produção, reduzir a utilização de pesticidas em culturas tradicionais; promover o uso de agro-ecologia para a produção alimentar, a criação de hortas comunitárias, arranjos silvipastorais para fabricação de ração, produção de pecuária leiteira, e plantio de árvores para proteger as fontes de água. Ao mesmo tempo, promoveu a formação da associação de produtores e comerciantes de produtos orgânicos usando seus próprios recursos e apoio do governo.

Palavras-chave: ação comunitária, pesquisa-ação participativa, mitigação da variabilidade climática, produção ecológica.

Introducción

El Parque Nacional Natural (PNN) Chingaza, ubicado en la provincia del Guavio, Cundinamarca, Colombia, tiene zonas de amortiguamiento de gran importancia para la captación de agua y el desarrollo de ciudades como Bogotá y los municipios

circunvecinos. El municipio de Junín hace parte de dicha provincia y se caracteriza por poseer una gran variedad de recursos naturales, abundante agua y bosques naturales; sin embargo, presenta un alto grado de contaminación del recurso

ídrico por el inadecuado manejo de los residuos sólidos, y líquidos, que en muchos casos son tóxicos. Adicionalmente, se ha presentado una afectación a las lagunas de la región, extinción de la fauna y la flora silvestre, destrucción de los bosques por las talas y las quemas indiscriminadas. Por otra parte, la producción agrícola representa el 70,5% de cultivos transitorios y el 16,6% cultivos permanentes, de los cuales 12,9% de cultivos anuales son de arveja, papa, maíz, caña panelera y mora. También, produce el 15.3 % de la leche que se comercializa en el departamento de Cundinamarca (CCB, 2008).

Los campesinos de los centros poblados de Chuscales y Claraval del municipio de Junín, no están ajenos a los cambios climáticos que ha sufrido la región en los últimos años. Por esta razón, un equipo de investigadores de la Corporación Universitaria Minuto de Dios – UNIMINUTO- y la Secretaría de Ciencia Tecnología e Innovación (SCTel) de la Gobernación de Cundinamarca, actuaron como agentes externos a la comunidad con el propósito de obtener la información necesaria para diseñar una propuesta de acción comunitaria que aliene la participación, la concientización y el empoderamiento de los campesinos en el abordaje de las acciones que se requiere emprender frente a la problemática ambiental, y específicamente en el cambio climático, como una realidad que está afectando y transformando profundamente los aspectos naturales y sociales del país y del planeta en general.

Abordar la problemática de forma responsable implica preguntarse:

- ¿Cuál es el aporte que desde la comunidad puede hacerse, para mitigar el cambio climático, realidad que afecta la cotidianidad de las sociedades rurales y urbanas de la zona de amortiguamiento del PNN Chingaza?
- ¿Cómo generar acciones de hecho que apunten al mejoramiento de la comunidad rural que vive en las zonas de reservorios de agua?

- ¿Cuál es la metodología apropiada para llegar al interior de la comunidad y que ella misma genere ejercicios positivos en favor del cambio de actitud y en la mejora de las prácticas de agricultura y ganadería tradicionales?

Agroecología, como pretexto para la comunicación y el entendimiento

La Investigación Acción Participativa (IAP) y el Diagnóstico Rural Participativo (DRP) permiten la comunicación entre los habitantes de la zona de estudio, hacen un diálogo claro y abierto de los problemas que diariamente ven en la región, sin detenerse a hablar de ellos como diálogos importantes para la supervivencia y sobre las formas de producir teniendo como prioridad los problemas estructurales. Es así como la indagación saca a flote los más íntimos temores sobre las formas de actuar, la comunicación dirigida, permeada por la investigación, da lugar a diálogos sobre temas de la cotidianidad que no están explícitos en el quehacer cotidiano. Estos temas que en su mayoría pueden estar identificados o no, pero que no son tema de análisis crítico, y menos aún temas para la acción. De esa forma los investigadores juegan un papel importante en la escogencia del tema, en la identificación sistemática de los problemas, la localización en el terreno del problema y las acciones a emprender (Bordeau, 1998).

La crisis medioambiental y socioeconómica de la agricultura convencional a escala mundial ha originado el surgimiento de la agroecología como un enfoque teórico y metodológico, utilizando varias disciplinas científicas que estudian la actividad agraria desde una perspectiva ecológica y social (Altieri, 1987; Altieri, 1995; Gliessman, 1997; Guzmán & Alonso, 2007). La agroecología se ha materializado a nivel mundial como una estrategia de desarrollo rural sustentable con un fuerte componente endógeno, dando lugar a numerosas experiencias de agricultura ecológicamente más sana, socialmente justa, económicamente viable y culturalmente aceptable. En Colombia, la evidencia más consistente de esta estrategia es la agricultura

y ganadería ecológica, la cual está articulada con otras iniciativas locales, permitiendo a los productores permanecer en la actividad agraria, a la par de mejorar el estado de los recursos naturales (Alonso, 2004; Alonso, 2005). Características comunes de una buena parte de estas experiencias son la revalorización de los recursos locales tales como: materia orgánica, conocimiento de los agricultores, variedades de cultivo, semillas, razas ganaderas criollas y paisaje, la articulación con otras actividades económicas como el ecoturismo, la educación ambiental y el desarrollo de canales de comercialización cortos que permiten a los productores la captación de un mayor valor agregado.

De esta manera se evidencian dos (2) modelos de agricultura: uno tradicional, derivado de la revolución verde de los años 60 (Altieri, 1995), altamente dependiente de insumos agroquímicos, y otra agroecológica o alternativa, donde se hace uso de los recursos existentes y hay una alta rotación y uso de la energía para la producción de alimentos.

Sin embargo, la transición del modelo “convencional” al modelo “agroecológico” no es una ruta cómoda. Los productores identifican numerosas dificultades que en mayor o menor grado les afectan. Esta transición es un proceso complejo en el que se articulan distintas escalas desde la finca, el sistema local y los sistemas globales, y se ven afectadas por factores sociales, económicos, tecnológicos, culturales y ecológicos.

Desde el punto de vista ecológico, la función del grado de especialización e intensificación que tengan en la finca requerirán mayores o menores esfuerzos para eliminar los productos agroquímicos de síntesis, reordenar los flujos de nutrientes y energía, reintroducir biodiversidad como: cercas vivas, rotaciones, policultivos y sistemas ganaderos sostenibles, para disminuir el peso específico de empresas individuales. El apoyo gubernamental en lo que tiene que ver con situación financiera de los predios, tiene gran importancia en la posibilidad de acceder a créditos con bajas tasas de interés, pero que estos, a su

vez, están re direccionados hacia la financiación de un modelo agroecológico convencional, con alto grado de utilización de agroquímicos. Por lo tanto, la existencia de estructuras de apoyo, como servicios accesibles de asistencia técnica y comercial, asociaciones de consumidores, organizaciones de agricultores y grupo social que lo conforma, favorece activamente la transformación, siendo esta determinante para lograr cambios en el manejo de la producción. Tecnológicamente, la capacidad de los agricultores para generar tecnologías adaptadas a las condiciones locales y de la producción ecológica, acelera o retrasa la incorporación a la agroecología.

Existe obstáculos que dificultan la transición agroecológica de los agricultores en Colombia y esto depende de dos aspectos: el primero, que no hay una investigación suficiente y sistemática desde las instituciones públicas o desde las iniciativas privadas que inviertan en la trabajos para mejorar la gestión social (Altieri, 1995), para que éstas sean productivas y con rentabilidad económica, así como en los stocks de capital humano, no están capacitados, ni hay una política firme de educación rural para la producción de productos ecológicamente limpios y de economía solidaria en lo social y en lo colectivo. Y el segundo, tal vez el más importante, tiene que ver con los espacios participativos de construcción de desarrollo endógeno, el cual en el ámbito de la agroecología se conoce como Metodologías Participativas. No se puede seguir haciendo replicación de modelos y características productivas sin realizar una base de trabajo participativo en el cual, cada campesino, cada productor, tenga un aporte a la agricultura ecológica, presentando sus experiencias exitosas, pero sin que estas sean recetas de aplicación universal.

Factores que limitan la transición hacia un manejo ecológico en la agricultura y la ganadería.

A continuación se describen las más importantes barreras que dificultan que los procesos de transición agroecológica se logren:

- 1) Barreras técnicas. Los bajos niveles de escolaridad de campesinos hacen que haya desconocimiento de propuestas técnicas en la agricultura y la ganadería ecológica; también hay escasez de información y conocimientos sobre experiencias para aplicar a la agroecológica en condiciones específicas. La capacitación gubernamental a cargo del SENA y las UMA-TAS, se centra en los monocultivos y cultivos de producción industrial, desconociendo la producción de alimentos como eje fundamental del desarrollo de comunidad. El modelo productivo de los pobladores, está basado en el consumo de agro tóxicos para la producción agrícola. Olvidando la experimentación en la producción de alimentos con los modelos agroecológicos y de auto sostenimiento.
- 2) Barreras sociales. La sociedad de los productores y las presiones del entorno social para abortar el proceso de cambio. Falta de apoyo desde estructuras organizativas propias de los agricultores y ganaderos, organizaciones de productores, y cooperativas. Los mayores requerimientos en la agricultura ecológica es la mano de obra, que a su vez puede actuar como bondad del modelo. Esta circunstancia, sin embargo, podría beneficiar a la mal trecha agricultura familiar.
- 3) Barreras de mercado y/o económica. Se identifican también, dificultades en la comercialización en el mercado interno. La escasa demanda del mercado interno de alimentos ecológicos tiene mucho que ver con la dificultad de acceso a estos productos, escasos puntos de venta y con los precios especulativos que muchas cadenas comerciales mantienen para estos productos. Los precios que no corresponden, ni con los costos de producción, ni con los precios pagados a los agricultores.
- 4) Barreras legales. La desprotección del productor ecológico en relación a la contaminación difusa, tanto de sustancias químicas nocivas, como de genes provenientes de

organismos modificados genéticamente (OGM). La contaminación difusa está originada por los tratamientos químicos en los campos de agricultores convencionales vecinos o por otras actividades económicas más o menos cercanas, como la industria. El aire y el agua sirven de vehículo de contaminantes que aparecen después, en los exhaustivos análisis que se realizan a los productos ecológicos que deben ser desviados hacia los mercados convencionales. Esto origina una importante pérdida de ingresos para el productor ecológico. Esta situación es posible que se agrave en el futuro con la contaminación genética derivada de la presencia de cultivos transgénicos, dejando a los agricultores ecológicos en situación de indefensión ante los que contaminan.

La complejidad de las dificultades para promover la transición agroecológica, apenas esbozada en las líneas anteriores, reclama también cambios en el enfoque de la investigación que se viene realizando en Colombia.

La Investigación Participativa como herramienta de la transición agroecológica y el desarrollo rural

Los procesos de modernización de la agricultura a nivel mundial y la implantación de las técnicas de la Revolución Verde se llevaron a cabo con gran apoyo institucional, materializado en servicios de investigación y de extensión agraria bien dotados de recursos económicos y humanos. El modelo de investigación y transferencia de tecnología vertical y unidireccional en que se basó la modernización de la agricultura fue muy criticado a partir de los años setenta del pasado siglo (Chambers & Ghildyal, 1985) por su incapacidad de ofrecer respuestas a la mayoría de los agricultores del mundo (los de bajos recursos y aquellos que manejaban áreas ecológicamente sensibles) y por las deficiencias intrínsecas de un modelo que incorporaba numerosos prejuicios en su seno y era incapaz de reconocer el conocimiento campesino (Cernea *et al.*, 1985; Chambers, 1983 y 1991; Chambers & Ghildyal, 1985).

En líneas generales, este marco de modernización agraria, apoyado desde la investigación y extensión agrarias de carácter público, ha supuesto que los agricultores hayan tenido que realizar fuertes inversiones monetarias para la adquisición de tecnología exógena, con el fin de que sus fincas se convirtieran en eficaces unidades de obtención masiva de mercancías agrarias, incrementando su productividad física y económica. Sin embargo, en el mejor de los casos, junto a aumentos productivos han ido apareciendo una serie de externalidades negativas de orden económico, endeudamiento de los agricultores, desequilibrios de rentas entre la población urbana y rural. El desplazamiento de amplias áreas rurales, envejecimiento de la población rural y ecológica, consistente en la contaminación de recursos hídricos, erosión y pérdida de fertilidad de los suelos, deterioro de la biodiversidad, que cada vez se hacen más evidentes. Por el contrario, la transición agroecológica actual, entre otros aspectos, trata de minimizar tales externalidades negativas, se están llevando a cabo mayoritariamente sin el respaldo de la investigación pública, con el agravante de que los servicios de extensión agraria han desaparecido, siendo delegados en los servicios técnicos de empresas multinacionales, vendedores principalmente de semillas, fertilizantes y plaguicidas, a las que no conviene una transición agroecológica que vaya más allá de una sustitución de insumos.

Implementar metodologías de Diagnóstico Rural Participativo (DRP) que permitan diseñar conjuntamente con los agricultores y ganaderos, propuestas de manejo y tecnologías adaptadas a sus condiciones tanto socioeconómicas como medioambientales, cuyo criterio de validez sea la capacidad de las mismas para incrementar la sustentabilidad agraria. Se entiende por DRP aquella que constituye un proceso de interacción creativa dentro de las comunidades rurales mediante el cual el conocimiento local y el científico se combinan y se desarrollan en pie de igualdad para encontrar soluciones a los problemas de los productores, sacando el máximo provecho posible de las oportunidades y recursos locales. Implica

la colaboración en las tres escalas mencionadas en la introducción finca, sociedad local y sociedad mayor de agricultores e investigadores para analizar el agroecosistema. Definir los problemas y prioridades locales, experimentar con las posibles soluciones, evaluar los resultados y comunicar los hallazgos a otros agricultores y ganaderos. Posteriormente, se plantea el DRP como herramienta para solventar tales limitantes.

En el ámbito de la agroecología la propuesta del Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) desarrollada por varios autores (Astier & Hollands, 2005) ha sido la más empleada por agroecólogos con el fin de analizar los sistemas agrarios a escala de finca desde una triple perspectiva: económica, social y ecológica. El MESMIS sigue los siguientes pasos metodológicos:

- 1) Selección y caracterización previa del agroecosistema mediante la obtención de la información básica, entrevista, información secundaria, para definir el itinerario técnico y la estructura y los límites del agroecosistema.
- 2) Determinación de puntos críticos que amenazan la sustentabilidad del sistema y selección de indicadores correspondientes. Dichos indicadores están relacionados con todos los atributos de la sustentabilidad: productividad, estabilidad, resiliencia, equidad, autonomía y adaptabilidad cultural (Conway, 1987).
- 3) Definición de los criterios operativos a considerar: máximos y mínimos admisibles.
- 4) Medición y monitoreo de los indicadores, como por ejemplo: erosión, rendimiento, eficiencia y autonomía energética.
- 5) Integración de los resultados mediante análisis multi criterio y presentación de los resultados generalmente en un gráfico AMEBA.
- 6) Discusión de los resultados y recomendaciones.

El seguimiento de tales pasos metodológicos permite al DRP, una rápida extracción y análisis de información referente a la estructura y funcionamiento del agro ecosistema, la consideración de la sustentabilidad como propiedad emergente a este nivel y la generación de indicadores cuantitativos y cualitativos para la evaluación de la sustentabilidad a nivel de finca. Como resultado, la información que ofrece es útil para la discusión y toma de decisiones a distintos niveles: para los agricultores, que pueden tomar medidas para mejorar la sustentabilidad; para los políticos, que tienen la posibilidad de elaborar políticas agrarias que corrijan los puntos críticos que ponen en peligro la sustentabilidad del sistema; y por último, para los investigadores, a los que ofrece la posibilidad de trabajar en grupos multidisciplinares y de obtener una información sistémica clave para reconducir sus investigaciones disciplinares hacia la resolución de los problemas que afectan a la sustentabilidad de los agro ecosistemas. Soluciones que posteriormente deben ser evaluadas igualmente desde una perspectiva sistémica y participativa, con criterios de sustentabilidad.

La Investigación Diagnóstico Rural Participativo (DRP): un marco metodológico para la transición agroecológica global y el Desarrollo Rural Sustentable

La Investigación DRP surge de las Ciencias Sociales en los años cuarenta del pasado siglo, aunque en el ámbito del trabajo con la población campesina, partió de un cuestionamiento a fondo de los sistemas de extensión y capacitación utilizados para la modernización del agro, que inició Paulo Freire (1978) con su obra *¿Extensión o Comunicación? La concientización en el medio rural*. La IAP parte de la base de que cualquier proceso de desarrollo que se emprena estará sesgado si no integra las realidades, necesidades, aspiraciones y creencias de los beneficiarios y más aún, si no integra a los beneficiarios de este proceso como protagonista del mismo.

De forma resumida el sociólogo Fals Borda (1991) explica que el objetivo del DRP es generar un conocimiento liberador que parte del propio conocimiento popular y que explica su realidad globalmente, enfoque sistémico, con el fin de iniciar o consolidar una estrategia de cambio, procesos de transición, paralelamente a un crecimiento del poder político, destinados ambos a alcanzar transformaciones positivas para la comunidad a nivel local; y a niveles superiores en cuanto que es capaz de conectarse con experiencias similares a redes.

El hecho de partir del conocimiento popular, en nuestro caso, del conocimiento de los agricultores, sitúa la participación de éstos en el centro del proceso de investigación. La participación de los productores, que tienen una percepción sistémica del agroecosistema, combinado con el uso de herramientas como el MESMIS, garantiza la comprensión holística de la realidad por parte del investigador. Por otra parte, la IAP se ha demostrado eficaz y tiene gran experiencia en promover cambios sociales, esto es, procesos de transición, porque es capaz de trabajar a distintos niveles: finca, sociedad local y sociedad mayor. En este sentido, intenta no sólo promover el cambio tecnológico, sino también favorecer la adquisición de capacidades y la organización por parte de los grupos implicados para que puedan continuar el proceso por sí mismos, así como incidir en ámbitos superiores (sociedad local o mayor).

Metodología

El PNN Chingaza, declarado patrimonio hídrico de la humanidad con el título de Humedales Ramsar (Sarmiento, 2007), está ubicado en la provincia del Guavio, conformada por ocho municipios: Gachalá, Gama, Guasca, Guatavita, Junín, La Calera, Ubalá y Gachetá; siendo este último, la capital de la provincia, cuenta con una población de 79.621 habitantes (DANE, 2005). El 80,1% de sus viviendas son rurales y el 19,9% urbanas. (Cundinamarca, 2014). Esta zona es de gran importancia para Colombia y en especial para los departamentos

de Boyacá, Cundinamarca y Meta, debido a que su relieve montañoso (Figura 1) genera un porcentaje importante de la reservas de agua dulce que

surten los acueductos de por lo menos 20 municipios y de la capital del país, Bogotá. (Cundinamarca, 2014)



Figura 1. Mapa de ubicación de los centros poblados de Claraval y Chuscales, en relación con el parque Natural Nacional Chingaza en la región del Guavio

El proyecto de investigación, en convenio con la Corporación Universitaria Minuto de Dios, UNIMINUTO, a través del Parque Científico de Innovación Social y la Gobernación de Cundinamarca, desarrolló el plan piloto de adaptación del calentamiento global con la comunidad de los centros poblados de Chuscales y Claraval del municipio de Junín, Cundinamarca, donde se implementó la metodología de enfoque Investigación Acción Participativa (IAP) con el propósito de reflexionar sobre la realidad y los problemas existentes, para adelantar acciones que apuntan a la transformación de la realidad que se vive; de ahí la importancia de esta metodología de trabajo para promover la organización social (Fals Borda, 1991).

Acorde a esto, tanto el equipo investigativo como la comunidad, mostrarán la manera cómo las prácticas y conocimientos tradicionales de campesinos en relación con la agricultura, la silvicultura y el manejo de recursos como el agua y el suelo, aportan a la mitigación de los impactos del cambio climático. Para lograr lo anterior, se expondrá a continuación, la forma de recolección de información, la metodología usada en los talleres con agricultores de cada comunidad, y la estrategia que logró la mayor participación de los actores locales.

Diagnóstico

La metodología utiliza el mapa conceptual (Figura 2) y basándose en la Investigación Acción Participativa (IAP) o Diagnóstico Rural Participativo (D.R.P), permite hacer un reconocimiento de la zona e identificar la problemática existente regentada por la comunidad y la forma de producción actual, que está deteriorando sistemáticamente el ambiente (CCB, 2008). En primer lugar se efectuó la aplicación de talleres participativos para la identificación colectiva de los problemas. En segundo lugar, se identificó la existencia de flora y fauna nativa en la zona. En tercer lugar se precisaron los problemas generados a partir de la forma de uso de la tierra y el consecuente deterioro ambiental. Y en cuarto lugar se desarrolló el trabajo de campo para mitigar el deterioro, con propuestas agroecológicas con menor impacto en el ambiente, apropiadas para el desarrollo productivo en las fincas de los participantes.

Durante la investigación se utilizaron los siguientes instrumentos:

1. Cartografía social: para el acercamiento a la comunidad se utilizó este ejercicio, consistente en una técnica de trabajo en grupo que permite la realización de diagnósticos participativos como resultado del reconocimiento del territorio a través de distintos mecanismos como: observación, conversatorios comunitarios, acercamientos a realidades específicas, visitas de campo, entrevistas, revisión de documentos y otras ayudas que permiten un conocimiento lo más preciso posible acerca del lugar, las relaciones y las condiciones de vida de quienes habitan, frecuentan, trabajan y conocen una zona, o región, éstas se plasman en el mapa del territorio que se va a reconstruir (Piza, 2009). Basado en lo anterior, se efectuó un reconocimiento de las viviendas de los participantes, para ubicarlos en el espacio geográfico sobre un mapa de la zona, con el propósito de obtener datos sobre el uso de la tierra, esto para generar confianza, logrando acciones positivas en relación a la forma de producción agrícola y pecuaria en la comunidad y enfocarla hacia la restauración del ambiente.
2. Entrevista semi-estructurada: se completó la información con una entrevista semi-estructurada, que consistió en un diálogo profundo con los protagonistas siguiendo una ruta de conversación enfocada en el problema de investigación cuyo objetivo es el de comprender procesos gestados en una comunidad generadora de ese proceso (Hammer & Wildavky, 1990). La discusión giró en torno a los problemas y a las particularidades de la región como zona frágil y los factores de riesgo que conllevan al actual sistema de producción, haciendo un reconocimiento general de los factores de resiliencia o las formas de adaptación de la comunidad a los cambios, los cuales les han permitido permanecer en la zona y la vulnerabilidad que esto aporta en las formas de producción y mantenimiento de la economía familiar.



Figura 2. Mapa conceptual con el modelo de Investigación Participativa como herramienta de la transición agroecológica

Resultados

Diagnóstico Rural Participativo (DRP) en la comunidad:

Teniendo a los sujetos como actores de su propio desarrollo y no como objeto de estudio, con el trabajo de investigación realizado en los centros poblados de Chuscales y Claraval se logró que los actores sociales se empoderaran del proceso de transformación del entorno familiar y el entorno comunitario.

En la observación participante, se concentraron los saberes y se identificaron los temores de la población frente a los cambios que todos evidenciaban sin tener una propuesta para abordar el problema. Al mismo tiempo se procuró obtener información sobre la zona e indagar sobre la visión que tienen de los aspectos positivos y de la problemática económica, ecológica y social de la producción agraria local.

En la fase de la investigación participativa se pusieron en marcha grupos de trabajo con aquellos productores de la comarca interesados en realizar la transición agroecológica.

La implementación de DRP sobre los problemas de la producción agraria en la zona, medioambientales y económicos, estableció las relaciones entre los pobladores, causa-efecto, sinergias, categorizarlos por orden de importancia, identificar soluciones, establecer orden de prioridad para poner en marcha la soluciones, asignar tareas y establecer un proceso de seguimiento del proceso de transición.

Como resultados concretos de esta fase surgieron tres tipos de propuestas:

- 1) La realización de estudios concretos para obtener información considerada importante para resolver la situación, tanto relativa al manejo agrícola o ganadero, fertilización, manejo de plagas o enfermedades, evalua-

ción de cargas ganaderas, recuperación de variedades tradicionales y de conocimiento del manejo tradicional en la zona, como a otras barreras: de mercado, sociales, etc.

- 2) La realización de acciones encaminadas a la formación del grupo en determinados aspectos.
- 3) Acciones tendentes a transformar la situación en la que se encuentran, puesta en marcha de fórmulas asociativas, de mercados locales, de grupos de trabajo, generar redes de apoyo con otros sectores de la sociedad. Los puntos 2 y 3 corresponden en esencia a la fase siguiente de acción participativa, aunque en la realidad es difícil establecer una frontera clara entre ambas fases.

La acción participativa.

Teniendo en cuenta la estrecha línea que separa ésta de la fase anterior, es preciso resaltar que DRP concede gran importancia a la creación de redes de trabajo conjunto entre grupos sociales con similares intereses de agricultores, consumidores, técnicos. Los objetivos de estas redes son generar sinergias mediante la puesta en marcha de acciones conjuntas, optimizar el aprovechamiento de los recursos disponibles, movilizar recursos económicos, facilitar el intercambio de información, apoyar iniciativas y actuaciones decididas en el seno de las redes, y servir de foros de debate. Todo ello se encuentra dentro de esta fase.

La evaluación. Dada la complejidad de los proyectos de DRP, son posibles dos tipos complementarios de evaluación. La primera admite la verificación del conocimiento producido mediante los métodos ortodoxos de contrastación de las ciencias sociales y naturales en el caso de los estudios planteados. La segunda se basa en la evaluación de la efectividad de los cambios logrados como resultado de la acción a través del seguimiento de los indicadores propuestos como por

ejemplo: empleo generado, porcentaje de producto vendido en canales cortos de comercialización, agricultores implicados. Esta fase de evaluación permite, tanto valorar el proceso en sí, como generar información continua para reconducirlo en caso necesario.

En definitiva la DRP, al situar en el centro del proceso de transición agroecológica a los grupos de productores, no sólo logra efectuar un diagnóstico holístico de la situación de partida que atañe tanto a la finca como a la sociedad local y mayor, y la definición de una situación objetivo realista con criterios de sustentabilidad, sino que también logra que el grupo se movilice para la consecución de las metas propuestas y que establezca relaciones con otros grupos, constituyendo redes o asociaciones que logran facilitar el cambio en distintos ámbitos, poniendo bases sólidas de desarrollo rural sustentable (Guzmán, 1998).

Los resultados obtenidos de la interacción del grupo de investigación y la comunidad campesina objeto de la intervención, están concentrados en la recuperación de pequeños lotes para la producción de hortalizas y frutas al igual que lotes de pastoreo establecidos con arreglos silvopastoriles como elemento indispensable para el mejoramiento de la alimentación del ganado.

Una vez identificados los problemas de la población campesina en la región, se pudieron establecer las líneas de acción para la mitigación de los efectos devastadores del sistema productivo desarrollado hasta el momento, como son: a. La búsqueda en la comunidad soluciones reales que se adapten a las necesidades del entorno; b. Empoderar a las mujeres, motores de las acciones humanitarias en cada uno de los predios donde se implementaron las propuestas productivas; c. Crear espacios de diálogo y entendimiento entre los integrantes de la comunidad, mujeres jóvenes personas de la tercera edad e inclusive niños como protagonistas del cambio.

De esta forma se logra conformar:

1. Huertas caseras con arreglos biodinámicas en la producción de hortalizas plantas medicinales.
2. Establecimiento de poteros de descanso y la siembra de árboles forrajeros de gran valor nutritivo para la alimentación del ganado de leche.
3. Siembra de cultivo de frijol en asocio con maíz para mejorar el suelo y aumentar la productividad por unidad de área.
4. Protección de todo nacimiento de agua que este en los predios de los participantes de la organización.
5. Cercado y siembra de árboles en las riveras de las quebradas que surten el acueducto de la zona.
6. Promoción y los productos de panadería, elaborados por las mujeres de la región.
7. Organización de la comunidad para lograr mercados ecológicos en la ciudad.
8. Creación de la asociación de productores de los poblados de Chuscales y Claraval.
9. Establecimiento de huertas en los colegios y escuelas de la región.
10. Participación activa de los jóvenes estudiantes de la región.
11. Organización y participación activa de las mujeres en la toma de decisiones concernientes a la forma de producción dentro de los predios.

A modo de conclusión

A inicios del siglo XXI, la situación de poca sustentabilidad de la agricultura tiene su origen en una compleja trama de problemas sociales, económicos y ecológicos, para lo cual, la propuesta

de producción de alimentos de manera agroecológica se reclama como una estrategia efectiva de mejora en la sustentabilidad de la vida del campo y de las ciudades.

Para ser consecuentes con ello, los investigadores actuales requieren herramientas metodológicas de carácter sistémico que logren movilizar a la población rural en la resolución de dicha problemática, con el fin de realizar propuestas conjuntas de manejo y tecnologías adaptadas que incrementen la sustentabilidad agraria, asimismo permitan aumentar sus capacidades de crear, organizar, e incidir en el resto de la sociedad para buscar soluciones a los problemas derivados del cambio climático, con un apoyo real y contundente para el beneficio de todos.

La presente investigación es contundente en demostrar que en pequeña escala y con el trabajo sistemático de un grupo decidido de seres humanos, inquietos por lo que sucede a su alrededor puede, con pequeñas acciones hacer cambios importantes. Sólo resta recomendar que esta investigación, realizada en un pequeño poblado de la región del Guavio con consecuencias exitosas, se amplíe y se difunda en otras regiones rurales, donde se cuenta con jóvenes y adultos trabajando en el campo y en la ciudad, para que cada uno desempeñando un rol en el sistema agrosostenible, contribuya a un ambiente más sano y diverso.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la SCTel de la Gobernación de Cundinamarca, a UNIMINUTO y su Parque Científico de Innovación Social-PCIS-, a las comunidades de las poblaciones de Claraval y Chuscales, participantes del Proyecto de “Fortalecimiento de la Capacidad de Adaptación al Cambio Climático en Territorios Productores de Agua en Bogotá y Cundinamarca 100-PS-3-13-004” y al grupo de investigadores del proyecto:

Luis Eduardo Sanchez, Catherine Niño, Yulieth Prieto, Albert Hernández, Fabián Rojas y Juan Guillermo Cano.

Literatura citada:

1. Alonso, A. (2004). Impactos socioeconómicos de la agricultura ecológica. . Agricultura, Medio Ambiente y Sociedad. Serie Estudios, 156. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, 213-237.
2. Alonso, A. B. (2005). Desarrollo de la agricultura y ganadería ecológicas en espacios protegidos de Andalucía. Agroecología y agricultura ecológica. Progresos y problemas. Ed: RAERM. Murcia. , Pp. 55-66.
3. Alonso, A. M. (2005). Productive and institutional multifunctionality: Organic farming in protected areas. Heszthely (Hungria): XXI Congress European Society for Rural Sociology, 22-27 de agosto.
4. Altieri, M. (1987). Agroecology. The Scientific Basis of Alternative Agriculture. . Boulder.: Wetsview Press.
5. Altieri, M. (1995). Agricultura y desarrollo sostenible. MAPA. Madrid, 151-203.
6. Astier, M. & Hollands (2005). Seis experiencias agroecológicas en Latinoamérica. Madrid: Mundi-Prensa, ILEIA, ICCO y GIRA.
7. Bourdieu, P. (1998). ‘Comprender’, la Miseria Del Mundo. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
8. CCB, C. d. (20 de 11 de 2008). Caracterización económica y empresarial de las provincias de cobertura de la CCB. El Guavio. Bogotá: Camara de Comercio de Bogotá.
9. Cernea, M. C. (1985). Building the Research Extension-Farmer Continuum: Some Current Issues. The World Bank, Pp.310.
10. Chambers, R. (1983). Putting the Last First. . Longman Scientific and Technical; Harlow, Gran Bretaña, 235.
11. Chambers, R. (1991). Shortcut and Participatory Methods for Gaining Social Information for Projects. . Putting People First. Sociological Variables in Rural Development (M.M. Cernea, ed.) Oxford University Press; Washington, D.C., Chambers, R. 1991. Shortcut and Participatory Methods for Gaining Social Information for Projects. En Putting People Fi 515-537
12. Chambers, R. y. (1985). Agricultural research for resource-poor farmers: the farmer first and last. *Agricultural Administration* 20, 1-30.
13. Conway, G. (1987). The properties of agroecosystems. *Agricultural Systems* 24, 95-117.
14. Cundinamarca. (2014). Municipio de Junín. Recuperado de: <http://www.junin-cundinamarca.gov.co/index.shtml>
15. DANE. (2005). Censo Nacional Agropecuario Recuperado de: <http://www.3ercenso nacionalagropecuario.gov.co/content/bolet%C3%ADn-t%C3%A9cnico-10-de-noviembre>

16. Fals Borda, O. (1991). Algunos ingredientes básicos. En Acción y Conocimiento. Como romper el monopolio con investigación- acción participativa . Santafé de Bogotá.: CINEP; Pp. 7-19.
17. Gliessman, S. (1997). Agroecology. Ecological Processes in Sustainable Agriculture.. Chelsea.: Ann Arbor Press.
18. Guzmán, G. A. (1998). Las metodologías participativas de investigación: un aporte al desarrollo local endógeno. Agricultura ecológica y desarrollo rural. Universidad Pública de Navarra, 25-28 de septiembre., 301-316.
19. Guzman, G., & Alonso, A. (2007). La investigación participativa en agroecología: una herramienta para el desarrollo sustentable. *Ecosistemas* 16 (1), 24-36.
20. Hammer D. & Wildavky A. (1990).oral No. 4 Entrevis- ta ¿Para qué?, 23 61.
21. IGAC. (2009). Atlas de la distribución de la propiedad en Colombia. Cundinamarca. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Recuperado de: http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/d6e971004dc60fdbb-948fb36b39898f6/3_la_concentraci%C3%B3n_de_la_tierra_en_colombia_paginas_200-299.pdf?MOD=AJPERES
22. Piza, H. Y. (2009). La cartografía social como instrumento metodológico en los proceso de construcción de territorio a partir de la participación ciudadana en la planeación territorial. Bogota: Pontificia Universidad Javeriana.
23. Sarmiento, E. (2007). Caracterización de sistemas productivos de la zona rural del Guavio. Ubalá: Convenio patrimonio Natural CORPOGUAVIO-EMGES-Conservación y producción agroempresarial en la zona de influencia del Guavio.

Conflictos de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Recibido: 1 de octubre de 2014
Aceptado: 11 de noviembre de 2014

Cómo citar los artículos publicados en el volumen 6

Volumen 6 Número 1 enero-junio 2015

Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia

Andrade, H.J., Segura, M.A. & Varona, J.P. (2015). Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 19-28.

Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia

Lince Salazar, L.A., Rodríguez Valencia, N. & Sadeghian Khalajabad, S. (2015). Disponibilidad de Ca²⁺, Mg²⁺ y K⁺ en función de las propiedades del suelo, zona cafetera central de Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 29-42.

Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia

Salamanca Jiménez, A. & Amézquita Collazos, E. (2015). Influencia de la intensidad de uso sobre algunas propiedades físicas en un suelo del Valle del Cauca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 43-52.

Efecto de la radiación ultravioleta y la colonización micorrízica en árboles pioneros de la región oriental de América del Norte

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 RIAA, 6 (1), enero-junio, 53-66.

Conservación in vitro: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos

Bonilla Morales, M.M., Mancipe Murillo, C. & Aguirre Morales, A.C. (2015). Conservación in vitro: una perspectiva para el manejo de los recursos fitogenéticos. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 67-82.

Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada

Montenegro Gómez, S.M., Ararat, M.C. & Betancur, J.F. (2015). Cachaza y carbonilla: residuos agroindustriales con potencial de fertilización biológica nitrogenada. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 83-90.

Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies

Bonilla Morales, M.M., Aguirre Morales, A.C. & Aguadelo Varela, O.M. (2015). Morfología de Passiflora: una guía para la descripción de sus especies. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 91-110.

Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes

Amaya Hurtado, D. & Sandino Mora, J.D. (2015). Método preliminar de detección de patógenos biológicos en cultivos de fresa por medio del procesamiento digital de imágenes. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 111-122.

Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia

Doria Argumedo, C. & Deluque Viloria, H. (2015). Niveles y distribución de metales pesados en el agua de la zona de playa de Riohacha, La Guajira, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 123-132.

Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia

Mosquera Mena, R.A., Santamaría Polo, T. & López Almansa, J.C. (2015). Sistemas de transmisión del conocimiento etnobotánico de plantas silvestres comestibles en Turbo, Antioquia, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 133-144.

Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (*Prunus persica L. Batsch* cv. “RUBIDOUX”)

Bastidas Parrado, L.A., Puentes Montañez, G.A. & Lemus Cerón, A. (2015). Parámetros de calidad durante la cosecha de durazno (*Prunus persica L. Batsch* cv. “RUBIDOUX”). Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 145-154.

Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra L.*) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto

Grajales Atehortúa, B.M, Botero Galvis, M.M. & Ramírez Quirama, J.F. (2015). Características, manejo, usos y beneficios del saúco (*Sambucus nigra L.*) con énfasis en su implementación en sistemas silvopastoriles del trópico alto. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 155-168.

Modelación hidrodinámica y determinación de calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia

Antonio Paiba, A.O. & Monroy Ávila, E.F. (2015). Modelación hidrodinámica y determinación de calidad del agua en el río Botello, Facatativá, Cundinamarca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 169-184.

Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima* var. *Unapal-Mandarino*)

Menjivar-Flores, J.C., Enciso Murillo, C.F. & Martínez Córdoba, H.E. (2015). Evaluación de la eficiencia de tres fertilizantes edáficos sobre el rendimiento y calidad del zapallo (*Cucurbita maxima* var. *Unapal-Mandarino*). Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 185-198.

Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia

Gutiérrez Malaxechebarria, A.M., Zambrano Rodríguez, Y. & Ospina Hoyos, L. (2015). Propuesta metodológica de priorización de áreas para conservación de cuencas. Validación en río Caquinal, Fómeque, Cundinamarca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 199-214.

Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba

Parra Batista, I., Altabás-Jorge, R. & Muchuly Cabrera, I. (2015). Proyectos socioculturales como alternativa para el desarrollo endógeno de dos comunidades de Puerto Padre, Cuba. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 215-226.

Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia

Mendoza Velásquez, S.A., Cano Muñoz, J.G. & Rojas Sánchez, F. (2015). Acción comunitaria frente al fenómeno del cambio climático, en el páramo de la región del Guavio, Cundinamarca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 267-280.

Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia

Sierra Roncancio, S.S., Cano Muñoz, J.G. & Rojas Sánchez, F. (2015). Estrategias de adaptación al cambio climático en dos localidades del municipio de Junín, Cundinamarca, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 227-238.

Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia

González Jiménez, G. & Choque Ladino, N. (2015). Condiciones actuales en términos de pérdida de biodiversidad en corredores biológicos de la Granja Agroecológica Uniminuto, Villavicencio, Meta, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 239-254.

Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia

Quintana Fuentes, L.F., Gómez Castelblanco, S., García Jerez, A. & Martínez Guerrero, N. (2015). Caracterización de tres índices de cosecha de cacao de los clones CCN51, ICS60 e ICS 95, en la montaña santandereana, Colombia. Revista de Investigación Agraria y Ambiental RIAA, 6 (1), enero-junio, 255-266.

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 (<http://riaa.unad.edu.co/>).

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.

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), 3^a edición en Español o 6^a 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., Paredes, 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: (Fig. 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 reported in lowercase, followed by the scientific species name in parentheses. Scientific names should appear in italics. After their first mentioning, genders should be simplified to the first letter.

E. Cited References. In the body of the article text references are cited by author's surname and year of publication separated by a space and brackets (). In the case of quoting two authors use the symbol “ & ”. When the citation refers to more than two authors use the word “et al”. Italicized. When citing more than one publication, it should be in chronological order and then alphabetically. For example, (Joe 1970, Alvarado & Gómez 1999, 2004, Oates 2001, Roberts 2004, Smith 2006, Albert et al. 2008).

References are included at the end of the text as one more headland of the same section, listed in alphabetical order, with french indent. Electronic references must be supported by scientific institutions; they won't be accepted as reference documents that come from commercial firms or private Web pages. Appointments will be documented according to the models listed below:

* **Published Arte:**

Halpern, S.D., P.A. Ubel & A.L. Caplan. 2003. Solid-organ transplantation in HIV-infected Patients. Engineering New England Journal, 347: 284-287

*** Article with supplement:**

Geraud, G., E.L. Spierings & C. Keywood. 2002. Tolerability and safety of frovatriptan with short-and long-term Treatment of migraine and used for in comparison with sumatriptan. Headache, 42 (Suppl 2): S93-9

*** Book**

F. 1982. Medical and surgical management. 2nd Ed W B Saunders, Philadelphia.

*** Book:**

Gilstrap, L.C., F.H. Cunningham & J.P. VanDorsten (Eds.). 2007. Operative obstetrics. 2nd Ed McGraw-Hill, New York.

*** Book Chapter:**

Meltzer, P.S., A. Kallioniemi & J.M. Trent. 2005. Chromosome Alterations in human solid tumors. In: Vogelstein B, Kinzler FG (Eds.). The genetic basis of human cancer. McGraw-Hill, New York, pp. 91-110

*** Graduate Thesis and Dissertations:** Gómez-Mayor M.S. 1989 violent mortality in the Judicial District of Alcalá de Henares [thesis / dissertation]. Alcalá de Henares: Faculty of Medicine, University of Alcalá de Henares.

*** Internet *:**

T. Collum 1997. Supplementation Strategies for beef cattle. Texas Agricultural Extension Service. The Texas A & M University System. Available online: <http://agpublications.tamu.edu/pubs/eanim/b6067.pdf>. [Include the date this document was consulted].

* Only use fonts that correspond to electronic serials, with institutional support, which contents cannot be changed or removed in the future. Do not use information from commercial sites or sites of opinion.

Note: Check that all references cited in the text appear in the literature cited section and vice versa.

IV. Clarification Note

The authors assume responsibility to return to the magazine the corrections of the final artwork (galleys) 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 vírgulas)
- 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 secção separada depois da discussão e antes das referências. Este parágrafo é opcional.

Referências. Assegure-se de que todas as referências citadas no texto estejam na lista de referências e vice-versa. Tenha em conta que não se admitam artigos sem referências. Siga o formato estabelecido para citações na revista (Secção 4 -Literatura Citada).

D. Considerações para o formato

1. Figuras e Tabelas. As figuras e as tabelas devem estar incluídas junto com o texto do manuscrito, em folhas separadas no final do documento, uma figura ou tabela por folha. Apresente o título e legenda das figuras e o título das tabelas em lista numa secção aparte. Tanto tabelas como figuras devem ser numeradas e citadas no texto de forma consecutiva com algarismos árabes.

..... **i.Figuras:** Dentro do texto refere a figura da seguinte forma: (Fig.1) As figuras não devem ter linhas de divisão tanto nas abcissas como nas ordenadas e volume nem sombra (Barras ou pontos em três dimensões), a menos que haja mais de dois eixos. Os eixos e sinais devem ser claros e grandes. Cada figura deve ter a respectiva legenda. As abreviaturas e acrónimos devem ser explicados na legenda da figura. As figuras devem ser enviadas no formato .jpg ou

.gif, e devem ter a qualidade necessária para a sua publicação (mais de 300dpi).

..... **ii.Tabelas:** Dentro do texto refere a tabela da seguinte forma: (Tabela 1). Apresente os dados numa tabela real com linhas e colunas, em espaço duplo sem divisões verticais, nem divisões internas. Devem utilizar unidades dos Sistema Internacional (SI). As abreviaturas e acrónimos devem ser explicados como notas no rodapé em cada tabela. Não se admite, em nenhum caso, tabelas no formato oblongo.

2. Equações. Devem estar justificadas à esquerda e enumeradas consecutivamente. A numeração deve estar justificada à direita e entre parêntesis. Utilize o Editor de Equações do Word 2003. O significado de cada símbolo deve clarificar-se no texto do manuscrito.

3. Rodapé. Não use rodapés.

4. Nomenclatura e unidades. Use as regras e convenções internacionais: Sistema Internacional de Unidades (SI). Os nomes comuns das espécies devem ser escritos em minúsculas, seguidos do nome científico da espécie entre parêntesis. Os nomes científicos devem apresentar-se em itálico. Depois da primeira menção, devem ser simplificados para a primeira letra.

E. Literatura citada.

No corpo do texto do artigo as referências se citarão por apelido do autor e o ano da publicação separados por um espaço e entre parêntesis. No caso de citar dois autores use o símbolo “&”. Quando a citação faz referência a mais autores use a palavra et al., em itálico. Quando cita mais que uma publicação, deve citar por ordem cronológica e depois alfabética. Por exemplo, (Pérez 1970, Alvarado & Gómez 1999, 2004, Oates 2001, Roberts 2004, Smith 2006, Albert et al. 2008).

As referências são incluídas no final do texto como mais uma secção do mesmo, por ordem alfabética, com recuo deslocado. As referências electrónicas devem estar acompanhadas por instituições científicas; não se aceitam como referências documentos que provenham de casas comerciais ou páginas Web privadas. As citações se documentarão de acordo os modelos seguintes:

Artigo publicado:

Halpern, S.D., P.A. Ubel & A.L. Caplan. 2003. Solid-organ transplantation in HIV-infected patients. *New England Journal Engeniering*, 347: 284-287

Artigo com suplemento:

Geraud, G., E.L. Spierings & C. Keywood. 2002. Tolerability and safety of frovatriptan with short- and long-term usefor 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 secção Literatura Citada e vice-versa.

IV. Esclarecimento

Os autores assumem a responsabilidade de devolver à revista as correcções das artes finais (provas) do seu artigo, com a maior brevidade possível. O Comité Editorial toma liberdade de publicar ou não, suplementos para aprovar a publicação de resumos em eventos científicos nacionais e internacionais.

V. Envio dos manuscritos.

Os manuscritos que se encontram preparados e de acordo com o formato da revista, devem ser enviados como anexo para o e-mail: riaa@unad.edu.co.

REVISTA DE INVESTIGACIÓN

Agraria y Ambiental



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)
Sede Nacional José Celestino Mutis
Calle 14 Sur No. 14-23
PBX: 3443700 - 3444120
Bogotá. D.C. Colombia
riaa@unad.edu.co
www.unad.edu.co/riaa