La Granja: Revista de Ciencias de la Vida

Volumen 27, Número 1, marzo 2018 – agosto 2018

ISSN impreso 1390-3799 • ISSN electrónico 1390-8596

La administración de La Granja se realiza a través de los siguientes parámetros:

• La revista utiliza el sistema antiplagio académico URKUND y Crossref Similarity Check Powered by iThenticate

• Los artículos cuentan con código de identificación (*Digital Object Identifier*) doi

• El proceso editorial se gestiona a través del *Open Journal System* OJS Open Journal Systems

Es una publicación de acceso abierto (*Open Access*) con licencia *Creative Commons*

CC BY NC SA

Las políticas *copyright* y de uso *postprint*, se encuentran publicadas en el Repositorio de Políticas de Autoarchivo *Sherpa/Romeo*.

Los artículos de la presente edición pueden consultarse en
http://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja

ABYA YALA | UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador

LA GRANJA, está indexada en las siguientes Bases de Datos y sistemas de información científica:

BASES DE DATOS INTERNACIONALES SELECTIVAS

PLATAFORMAS DE EVALUACIÓN DE REVISTAS

DIRECTORIOS SELECTIVOS

HEMEROTECAS SELECTIVAS

BUSCADORES DE LITERATURA CIENTÍFICA OPEN ACCESS

POLÍTICAS DE COPYRIGHT DE LAS EDITORIALES Y AUTOARCHIVO

OTRAS BASES DE DATOS BIBLIOGRÁFICAS

Catálogo de Bibliotecas Internacionales Universitarias

Índice

Editorial 5

Reseñas Bibliográficas

Normativas y sostenibilidad

Obtención de una denominación de origen protegido animal en Ecuador con base a la normativa europea 6
Manuel Maldonado Cornejo, Ramón Casals Costa, Xavier Such Martí, María Cristina Narváez Riofrío

Remediación

Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao 21
Javier Andrés Casteblanco

Artículos Científicos

Ecología Acuática

Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador 36
Esteban Terneus-Jácome y Patricio Yánez

Ecología Forestal

Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador 51
Carlos Alberto Jumbo Salazar, Carla Daniela Arévalo Delgado, Lenin J. Ramirez-Cando

Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la amazonía ecuatoriana 64
Carlos Congo Yépez, Francisco Velástegui Lara; Carlos Caicedo Vargas, Luis Rodríguez Iturralde, Antonio Vera Zambrano, Omar Montero Cruz

Población de macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera: análisis preliminar 77
Diego Marcelo Caicedo Rosero, Hernán Rigoberto Benavides Rosales, Luis Alfredo Carvajal Pérez, Jessica Paola Ortega Hernández

Agrometeorología y cambio climático

Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela 86
Barlin Orlando Olivares

Remediación

Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales 103
Renato Gabriel Sánchez Proaño, Katty J. García Gualoto

Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia 112
Luis Miguel Santillán Quiroga, Lorena Paola Paredes Pacheco

Desarrollo rural sostenible

Gestión de calidad de leche de pequeños y medianos ganaderos de centros de acopio y queserías artesanales, para la mejora continua. Caso de estudio: Carchi, Ecuador 124
Eloy Guillermo De la Cruz, Paola Simbaña Diaz, Nancy Bonifaz

Normas para autores 137

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida

Editorial

ABYA YALA | UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Estimadas y estimados lectores:

Empezamos el 2018 con excelentes noticias, nuestra Revista de Ciencias de la Vida, La Granja está indexada en el *Emerging Source Citation Index* ESCI de la prestigiosa Web of Science, muestra de la excelencia y calidad científica de la publicación, convirtiéndonos en la primera revista en temáticas ambientales y agropecuarias del Ecuador.

Y es que los esfuerzos que se han llevado a cabo no han sido pocos: empezando por la gran y mejorada calidad de las investigaciones de nuestros autores; contamos con traducciones al inglés íntegras de los artículos y resúmenes, títulos y palabras clave en portugués; agresiva internacionalización de nuestro Comité Científico y Revisor, presencia en redes sociales y menores tiempos de revisión. Todo esto dentro de una política de acceso abierto y sin ningún cargo económico para nuestros lectores y autores.

Es de esta manera que me complace presentar los artículos de este primer volúmen del año 2018. Empezamos por una revisión de las normativas internacionales para sacar el mejor partido de nuestros productos con una denominación de volumen. Manuel Maldonado y su equipo de investigadores de España y Ecuador, liderados por la Universidad de Cuenca, nos presentan esta interesante revisión.

A continuación, Javier Casteblanco desde Colombia, presenta una exploración de las técnicas de remediación para eliminar metales pesados en cultivos de cacao. Dentro de los artículos científicos, los investigadores ecuatorianos Esteban Terneus-Jácome y Patricio Yánez, desde la Universidad Internacional del Ecuador, nos muestran principios de mejoramiento de la calidad de agua a través del uso de bioindicadores, una interesante investigación de ecología acuática.

En el área de ecología forestal, Carlo Jumbo y su equipo de la Universidad Politécnica Salesiana, nos muestran la medición de carbono en los bosques de Tinajillas en Ecuador. Mientras que Carlos Congo y su equipo, en un convenio entre el INIAP, la ESPOCH y el ENA presentan su investigación del efecto que presentan los árboles dispersos en la productividad de los potreros de la Amazonía ecuatoriana. Y en la misma temática, Diego Caicedo y su equipo, desde la Universidad del Carchi, nos muestran un estudio de la macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la industria ganadera.

Por otro lado, en el tema de agrometeorología, Barlín Olivares, desde la Universidad de Córdoba, España; nos muestra cómo ha afectado el cambio climático a los sistemas de agricultura de secano en Carabobo, Venezuela, una preocupante realidad de nuestros tiempos.

Y pasando al tema de remediación, Renato Sánchez y Katty García, desde la Universidad Politécnica Salesiana, nos muestran técnicas de tratamiento de aguas industriales con oxidación avanzada, mientras que Miguel Santillán y Lorena Paredes desde la Escuela Politécnica del Chimborazo nos muestran técnicas de remoción de ácido sulfídrico en aguas industriales de la industria alimenticia, pero esta vez utilizando microorganismos.

Finalmente, en la temática de desarrollo rural sostenible, Eloy de la Cruz y su equipo interdisciplinario de la ESPOCH y la UPS, nos muestran cómo se puede mejorar la calidad de los productos lácteos en centros de acopio y queserías artesanales a través de una adecuada gestión

Sé que las investigaciones son un importante aporte en cada una de las diferentes ramas de investigación y estoy segura que serán una contribución valiosa a sus propias investigaciones.

Cordialmente,

Fís. Sheila Serrano Vincenti Ms.C Ph.D(c)
EDITORA

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.01

Reseña bibliográfica / Review

Normativas y sostenibilidad

CC BY NC SA

Obtención de una Denominación de Origen Protegido de origen animal en Ecuador en base a la normativa europea

Animal protected designation of origen at ecuador according to ue normative

Manuel Esteban Maldonado Cornejo[1,*], Ramón Casals Costa[2], Xavier Such Martí[2], María Cristina Narváez Riofrío[3]

[1*] *Universidad Católica de Cuenca, Agropampilla, Av. de las Américas y Humboldt, Cuenca, Ecuador.*
[2] *Universidad Autónoma de Barcelona, Plaça Cívica, 08193 Bellaterra, Barcelona, España.*
[3] *Instituto Nacional de Investigación en Salud Pública Dr. Leopoldo Izquieta Pérez, Av. Julián Coronel 905 entre Esmeraldas y José Mascote Av. Juan Tanca Marengo No. 100 y Av. de las Américas Guayaquil, Ecuador*

*Autor para correspondencia: mmaldonadoc@ucacue.edu.ec, mmaldonado@pampilla.com

Artículo recibido el 17 de agosto de 2017. Aceptado, tras revisión el 16 de enero de 2018. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

La poca adaptabilidad de los productos tradicionales frente a la globalización hace que pierdan mercado. Dado que una de las principales limitaciones para estos productos es su comercialización bajo estándares mínimos de calidad, surge la pregunta ?'Es posible obtener productos tradicionales con una calidad reconocible? En la UE la respuesta a esta pregunta se encuentra básicamente en el marco de las Denominaciones de Origen Protegidas (DOP). Una DOP otorga un valor agregado al producto bajo un concepto general de calidad, definida por su propia identidad, permitiéndole aproximarse a los estándares esperados por el consumidor. El principal objetivo de este trabajo es desarrollar un ejercicio para una propuesta local para la obtención de una DOP en Ecuador, estudiando previamente los principios generales para una denominación de origen ecuatoriana, comparándolos con la visión europea de una DOP. Para ellos se ha definido el alcance general de su aplicación y se ha estudiado el marco legal para su implementación. Por último, se ha desarrollado un pliego de condiciones con base en el "Queso de Hoja de Cayambe", que podría servir como referencia para la implementación de una DOP en cualquier otro producto. Concluyendo que, para el funcionamiento de una DOP en el Ecuador, es necesario encontrar flexibilidad administrativa, voluntad política y participación científica; pudiéndose usar este trabajo como herramienta de partida para el desarrollo de proyectos comunitarios agropecuarios y alimentarios.

Palabras claves: Calidad, DOP, identidad, Ecuador, UE.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

Amid globalization, traditional products with low adaptability lose market share. Considering that one of the main limitation of traditional products is their marketability under minimum quality standards, the following question arises: Is it possible to obtain traditional products with a level of quality recognizable by consumers? In the EU the answer for this question is found mainly in context of the protected designations of origin (PDO). A PDO status adds quality to the product by the value of its own identity, reflecting the quality standards expected by the consumer. The main objective of this work is to develop a proposal to obtain a PDO in Ecuador, studying the general principles of a designation of origin in Ecuador and comparing them with the European vision of a PDO of animal origin. Therefore, this paper defines the commercial, social, and agricultural aspects of the implementation of a PDO. Using an inter-regional approach, several products eligible for carrying the PDO seal are compared, and the legal framework for implementation in Ecuador is considered. Finally, a list of conditions based on the "Queso de Hoja de Cayambe" (Cayambe "string" cheese) has been developed, which could be used as a benchmark for implementation of a PDO on other products. The conclusion is that to implement a PDO in Ecuador, administrative flexibility, political will, and scientific engagement are needed. This study may be used as a preliminary tool for the development of community projects focused on livestock agriculture and food products.
Keywords: Quality, PDO, identity, Ecuador, EU.

Forma sugerida de citar: Maldonado Cornejo, M. E., Casals Costa, R., Such Martí, X., Narváez Riofrío, M. C.. 2018. Obtención de una Denominación de Origen Protegido de origen animal en Ecuador en base a la normativa europea. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):6-20. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.01.

Parte de la presente investigación se presentó en la Coordinación General del Sistema de Información del Ministerio de Agricultura, Ganadería Acuacultura y Pesca del Ecuador existe un Propuesta para el "Estudio comparativo para obtención de una D.O.P. en Ecuador en base al caso europeo" (Maldonado, 2017).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

Los estudios comparativos entre distintas regiones en relación con el fomento de procesos productivos son una herramienta clave para entender cualquier propuesta que se realice para su puesta en marcha y funcionamiento. Dado que las comunidades campesinas latinoamericanas representan un núcleo de población muy sensible frente a la globalización, y que las políticas comerciales no les permiten en muchos casos lograr un desarrollo socioeconómico inclusivo para todos los participantes (Vandecandelaere *et al*., 2010), implementar una Denominación de Origen Protegido (DOP) puede constituir una gran oportunidad para aprovechar las capacidades productivas de los sectores rurales latinoamericanos en pos del comercio justo (Tolentino Martínez, 2015), promoviendo la organización social y el fomento de proyectos comunitarios (Unión Europea, 2015).

En el Ecuador, en el literal 2 del Artículo 385, Sección Octava de Ciencia, Tecnología y saberes Ancestrales, Capitulo Primero sobre la Inclusión y Equidad del Título VII del Régimen del Buen Vivir indica que "el sistema nacional de ciencia, tecnología, innovación y saberes ancestrales, en el marco del respeto al ambiente, la naturaleza, la vida, las culturas y la soberanía, tendrá como finalidad el recuperar, fortalecer y potenciar los saberes ancestrales, desarrollando tecnologías e innovaciones que impulsen la producción nacional, eleven la eficiencia y productividad" (Asamblea Constituyente, 2008), enfocado posteriormente en los principios, del Código Orgánico de Economía Social del Conocimiento e Innovación (Asamblea Nacional, 2016), como iniciativa estatal para la protección de las tradiciones, en el Ecuador.

El presente trabajo pretende desarrollar una propuesta para la obtención de una DOP en Ecuador teniendo en consideración la normativa ecuatoriana y la europea, a partir de: 1) Revisar la definición y bases para el desarrollo de una DOP en Europa, vinculando estos principios con la calidad de alimentos de origen animal. 2) Identificar un producto local y desarrollar un pliego de condiciones para el establecimiento de una DOP de origen animal.

2 Definición

Un producto con un sello de indicación geográfica es aquél cuyo origen tradicional y características están relacionadas con una zona geográfica específica. Estas características cualitativas deben ser comprobables y vinculadas con esta localidad. En Europa se ha hecho distinción entre estos alimentos y dependiendo de sus características se los ha dividido en tres categorías Denominación de Origen Protegido (DOP), Indicación Geográfica Protegida (IGP) y Especialidad Gastronómica Protegida (EGT). En el Ecuador, y debido a que la Ley no distingue entre denominaciones de origen e indicaciones geográficas, en el presente trabajo nos referiremos de forma general a estos productos como una DOP.

Así, una DOP se definiría, de forma general, como el sello que se da a un producto tradicional, consumido con frecuencia, cuya elaboración ha sido trasmitida históricamente a través de generaciones, y sus características sensoriales están ligadas a su origen geográfico (Guerrero *et al*., 2010).

3 Alcances

Las DOP están siempre asociadas a una protección comercial para los pequeños y medianos productores, y han sido enfocadas en mejorar su remuneración económica (Consejo de la Unión Europea, 2012). El consumidor asocia el sello como un símbolo de calidad, y dado que la calidad es rentable, el producto se relacionará con los intereses del consumidor (Sellers y Nicolau, 2001). El consumidor europeo es cada vez más crítico respecto a los alimentos de origen animal, por lo que suele buscar en ellos su procedencia y sostenibilidad en la elaboración, mientras que los alimentos tradicionales en el Ecuador tienen otras características, como se muestra en la Tabla 1. Por lo que los alcances de una DOP son diversos, y pueden ir desde la parte comercial hasta un posible enfoque agro-sostenible.

En el Ecuador, pocas comunidades sienten la necesidad de asociarse como una alternativa al fortalecimiento de su producción (Hentschel y Waters, 2002) por lo que una DOP puede ser una alternativa para fomentar la asociación productiva. Para desarrollar una DOP es importante establecer la cadena de valor de los productos que identifican a un producto con la sociedad en la que se produce, para que posteriormente la sociedad lo califique de acuerdo con sus normas civiles y su entorno (Vandecandelaere *et al*., 2010). Una DOP busca el desarrollo de una sociedad, y constituye una herramienta muy útil para su desarrollo. En especial promueve la protección de grupos vulnerables (Oyarzun, 2011).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 1. Comparativa entre Europa y Ecuador de las características de los alimentos aptos para una DOP (Unión Europea, 2014; Guardia, 2016; IEPI, 2016)

Europa	Ecuador
1. Alimentos seguros	
2. Respeta la demanda del consumidor	1. Calidad Higiénica Diversa 2. Alta aceptación
3. Oferta limitada por estacionalidad o limitación de zona de producción	3. Oferta limitada por el tamaño de zona de producción
4. Reconocidos por su responsabilidad social	4. Reconocidos por su carácter comunitario
5. De diferentes formas de producción	5. Asociados a procesos de producción Agroecológicos

4 Características de los Productos Aptos Para una DOP

Un producto será apto para ser considerado una DOP según sus características de origen y el vínculo del mismo con el área geográfica, y en el caso de los alimentos tradicionales si su permanencia en el mercado local le ha permitido la transmisión de sus características a lo largo de distintas generaciones de productores y consumidores (Consejo de la Unión Europea, 2012).

La Unión Europea considera aptos para una DOP de origen animal todos los productos especificados en el Anexo I del Reglamento (CE) 510/2006 (Consejo de la Unión Europea, 2006), entre los que se encuentran: carnes frescas, despojos cárnicos comestibles (tripas, vísceras, estómagos), pescados, preparados de carne, pescado, crustáceos o moluscos, mantecas animales, quesos, productos lácteos, huevos y mieles.

En el Ecuador el tema es más genérico, y se considera apto para ser considerado DOP cualquier producto de origen agroindustrial que cumpla con las características básicas de una denominación de origen (IEPI, 2016).

La identificación de estos productos varía entre estas dos regiones. Mientras en Europa se usa un sello fácilmente reconocido por el consumidor, en Ecuador los productos tradicionales necesitan reconocimiento del estado según se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Comparativo de Sellos de Reconocimiento de Productos Tradicionales entre Europa y Ecuador (Unión Europea, 2014; IEPI, 2016)

Europa	Ecuador
Sello reconocido por el consumidor	Necesita reconocimiento del Estado

En Ecuador se pueden identificar varios sistemas de producción agropecuarios que se adaptan específicamente a su medio geográfico particular. A la vez se han identificado varios productos potenciales para una DOP de origen animal. Sobre todo, para poder obtenerlos, es necesaria una capacitación total del sistema en los procesos de producción agroalimentaria (IEPI, 2016).

En la actualidad existen dos denominaciones reconocidas como son: el "Cacao de Arriba" de origen vegetal y el "Sombrero Montecristi" de características artesanales. Además, se encuentran en proyecto para obtener una DOP el Café Galápagos, otros productos alimentarios y varias artesanías.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

5 Principios de un producto aptos para una DOP

Para identificar un producto apto para una DOP es necesario contrastar y definir las diferencias del producto con otros similares, según una diferenciación de las características del producto en diferentes regiones (Oberthür *et al*., 2011).

En la actualidad los productos con DOP son reconocidos a nivel mundial por la OMC, siempre y cuando esta denominación haya sido aceptada en su país de origen y cumpla con las normas del país de destino (WTO, 2012). De esta forma se facilita el comercio internacional de los productos tradicionales y su reconocimiento global.

Desde el 2006 se declaró en la Unión Europea la aceptación de solicitudes de DOP de terceros países (WTO, 2009), y fue el "Café Colombia" el primer producto latinoamericano reconocido en Europa (Café de Colombia, 2009).

La armonización legislativa entre países facilita el intercambio económico, y para que éste se realice de forma segura es necesario garantizar los niveles de calidad de los productos. Es por este motivo que para la obtención de una DOP es necesario el desarrollo de un procedimiento legal que reconozca al producto como tal.

6 Marco legal europeo

En Europa, un término bajo la inscripción DOP sirve para identificar a un producto que ha cumplido un pliego de condiciones que garantizan su calidad en todas las fases de producción. Este sello es reconocido en toda la Unión Europea como garantía de originalidad y tradición de acuerdo con el Arreglo de Lisboa (Unión de Lisboa, 1979).

En Europa se han desarrollado diversos programas de protección agrícola, como las políticas sobre la estructura agraria que promueven la mejora, adaptación y desarrollo en las zonas rurales. El Reglamento 1151/2012 (Consejo de la Unión Europea, 2012) del Parlamento y Consejo Europeo está enfocado a una amplia gama de productos de este tipo, y tiene como objetivo regular y promover la competencia leal y los derechos de propiedad intelectual. En la Tabla 3 se detalla el procedimiento general para la obtención de una DOP en Europa con base en este reglamento.

Tabla 3. Pasos para la obtención de una DOP en Europa: solicitud, condiciones, inspección y certificación (**?**)

1. Solicitud
Petición administrativa del país o región (en nombre de personas físicas, morales, públicas o privadas) según: El Tratado de Lisboa y el Reglamento (Unión de Lisboa, 1979)
2. Condiciones
Pliego de condiciones justificando: el área geográfica de influencia y las características del producto
3. Inspección
La Comisión Europea (CE) estudiará el caso, notificará y actuará como árbitro si el caso lo amerita.
4. Certificación
El registro de una DOP confiere derechos de comercialización mientras los estados de la UE velarán por qué estos se cumplan.

7 Marco legal ecuatoriano

En Latinoamérica, la diversidad de productos tradicionales coincide con una gran variabilidad legislativa entre países productores (Molina, 2015). Los distintos tratados multilaterales de propiedad intelectual buscan reducir al mínimo el fraude de los productos, siendo la inestabilidad legal una limitante en la promoción de los mismos. Es así que los primeros aportes legislativos en esta línea se pro-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

ducen durante la Ronda de Uruguay de Propiedad Intelectual (ADPIC, 1994). En la actualidad, países como Argentina y Chile han promovido legislaciones específicas para estos casos, como sucede con la Ley 25.380/2004 (Senado Argentino, 2004) y la Ley 19039, Título IX (Legislación Chilena, 2005). Por otra parte, los países andinos han planteado de forma más general sus normas. Así lo recogen los artículos 201 a 223 de la decisión 486 sobre la Propiedad Industrial de la Comunidad Andina, que mencionan ciertas bases generales para el manejo de las DOP en la región (Comisión de la Comunidad Andina, 2000).

En el Ecuador la regulación jurídica de las DOP forma parte del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, Capitulo XII (**?**) en donde se establece que se designará una Denominación de Origen a un producto de una zona geográfica determinada en a cuál se produce, extrae y elabora el mismo, incluyendo sus factores humanos y naturales. Este código no hace distinción entre DOP e IGP, pero ya incluye a las EGT en otro apartado. Entre lo más destacable del mismo esta la priorización de la producción comunitaria sobre otro tipo de producción y algunas especificaciones sobre su uso y certificación frente a la autoridad competente según se establece en la Tabla 4. Es por esto que al otorgarles una DOP a estos productos se logra su protección, ya que se transforman en "un bien de la nación confiado a sus productores" (Llorente, 2001).

Tabla 4. Pasos Para la Obtención de una D.O.P. en Ecuador: Solicitud, Condiciones, Inspección y Certificación. (IEPI, 2016)

1. Solicitud
Petición de persona natural o jurídica dedicada a la producción y/o elaboración del producto, autorizada como representante legal de la Indicación Geográfica según: La Dirección Nacional de Propiedad Intelectual (IEPI).
2.Condiciones
Especificar: Área geográfica de influencia y las características del producto.
3. Inspección
El IEPI estudiará el caso e inspeccionará en 15 días hábiles: Área geográfica, la forma de elaborar el producto y sus ingredientes, control de establecimientos y producción.
4. Certificación
La certificación autoriza al producto usar la palabra DENOMINACIÒN DE ORIGEN para la comercialización del producto, adquiriendo todos los beneficios que esto conlleva. Se publica en la Gaceta Oficial del Estado, con un rango de 30 días para cualquier oposición. La Indicación Geográfica queda inscrita como marca por un lapso de 10 años a partir de la fecha de publicación. La inscripción puede ser renovada.

8 Estándares de calidad

Un producto con una DOP necesariamente tendrá que vincular estándares de calidad en sus fases de producción. Cualquier sistema de control de la calidad constituye un reto para este tipo de industrias (Dora *et al*., 2013). Una DOP, al estar conjuntamente enfocada en el trabajo comunitario, artesanal, empresarial e industrial, debe trabajar con una normativa fácil de aplicar, entender, seguir y controlar por parte del productor (Trienekens y Zuurbier, 2008). De este modo él la cumplirá, y así se garantiza la seguridad del consumidor y mejora la competitividad de los productos (Cruz Gómez *et al*., 2004).

Una DOP se respaldará principalmente en la homologación de sus procesos productivos, con base en la legislación local y a los principios de calidad de cada país, considerando que la industria tiene que adaptarse a las necesidades del consumidor (Brissaud, Frein y Rocchi, 2013). Los organismos de control de calidad que se encargan de controlar las

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

características de higiene, propiedades organolépticas, reproducibilidad de las características específicas del producto y trazabilidad de los alimentos con una DOP velarán por los estándares de calidad bajo especificaciones y características mínimas que llenen estos requerimientos (Curtis, 2005). Bajo estos principios una DOP se respaldará en un equilibrio entre la trazabilidad, seguridad alimentaria, reproducibilidad, características sensoriales y etiquetado, según se representa en el círculo de calidad propuesto en la Figura 1.

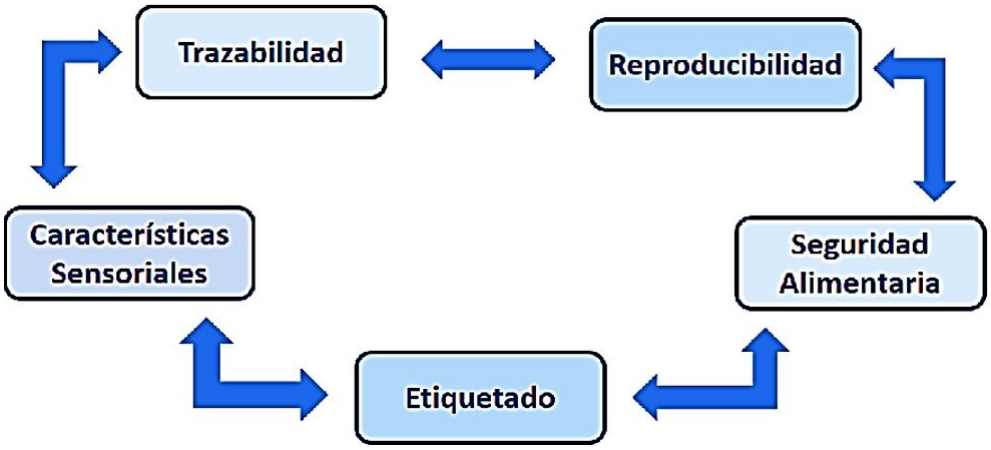


Figura 1. Círculo de la calidad

9 Definición de un pliego de condiciones para una DOP de Origen Animal

Un pliego de condiciones consiste en una ficha de seguridad técnica donde se establecen los ingredientes, factores y condiciones para la implementación de una DOP, además de los causales de adulteración del mismo. Es recomendable que sea definida por los actores de la DOP, sea fácil de aplicar, entender, seguir y controlar (FAO, 2011). El pliego responde a las obligaciones legales de cada país, y se fundamenta en la investigación científica como base para el establecimiento de las normas de seguridad y calidad alimentaria (Vandecandelaere *et al*., 2010).

El manejo adecuado de la certificación y las condiciones que debe cumplir un producto con DOP, permite promocionar el producto globalmente, y conseguir un importante reconocimiento internacional, como está sucediendo con el Queso Manchego (Consejo Regulador Queso Manchego, 1995).

10 Principios que vinculan una DOP de origen lácteo con su ambiente

Un queso es la consecuencia de la combinación y correlación de varios factores, tanto intrínsecos como extrínsecos, que influyen en su composición y proceso de fabricación. Las correlaciones de estos factores afectan el rendimiento y composición quesera (Cecchinato y Bittante, 2016), siendo estos factores para tomar en cuenta en el pliego de condiciones de una DOP.

Origen

Un queso de calidad se definirá por el origen de su materia prima (especie, raza, lactancia, alimentación, CCS), que afecta la composición de la leche (pH, grasa, proteína), y específicamente la composición vinculada con las características del queso (caseína y grasa).

En los procesos industriales de fabricación de un queso, el resultado final dependerá del tratamiento térmico, cocción, uso de estárteres, aditivos, pun-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

tos de corte, sinéresis, desuerado, amasado, etc., entre muchos más factores que al ser modificados cambiarán notoriamente la calidad del queso (Fox *et al*., 2004). El desarrollo de sabores específicos en quesos, según el origen de la leche, se da principalmente por el aporte de bacterias no patógenas al queso (Yoon, Lee y Choi, 2016).

Forma de Producción

El proceso de producción de leche es un proceso complejo y debe ser controlado de acuerdo con los objetivos de cada ganadero. La forma de producir la materia prima influye en la cantidad y calidad de la leche, como sucede en Urgell (Consejo Regulador de la Mantequilla de Altura de Urgell, 2001), región donde se produce leche con niveles de grasa óptimos para la elaboración de mantequilla.

En el caso de la producción lechera en el Ecuador, en su mayoría proviene de sistemas extensivo que manejan parámetros productivos bajos. Requelme y Bonifaz (2012) indican que es necesario políticas dirigidas hacia los pequeños productores ya que estos son la mayoría y manejan producciones promedio inferiores a 4 litros diarios, en extensiones de 1 a 5 hectáreas. En este caso una DOP se beneficiará de la especificidad de estas formas de producción y de allí obtendría su diferenciación frente a los demás productos.

La guía de Buenas Prácticas Pecuarias de Producción de Leche (AGROCALIDAD, 2012) abarca un amplio número de formas de producción a las que los distintos productores pueden adaptarse. Para el desarrollo de una DOP, esta guía es un punto de partida de la cual el productor puede garantizar la calidad de su materia prima.

Alimentación de los animales

La calidad de los productos lácteos depende, como ya hemos comentado, del origen de su materia prima, y ésta depende en buena medida del manejo y la alimentación de los rebaños. Así lo respaldan varios estudios que determinan que, al alimentar los rebaños comerciales con pastos de diferentes tipos, la composición de la leche varía, afectando a la vez las características finales de los quesos (Valdivielso *et al*., 2016).

Fabricación

La fabricación del queso afectará su calidad, y sus características sensoriales dependerán de varios factores (Johnson, 2017). Entre los aspectos sensoriales que se ven influidos por la fabricación están: el carácter nutritivo, textura, sabor, aroma, y apariencia. También la tecnología aportará aditivos y procesos operativos que pueden modificar el producto final. Durante la fabricación del queso existen otros factores, como el salado, moldeado, prensado, maduración, almacenamiento y empacado, que afectarán las características sensoriales del queso.

Almacenamiento

Dado que el queso se ve afectado por distintas variables desde su origen, su posterior almacenamiento también influirá en sus características organolépticas finales (Fox *et al*., 2004). Es así como las condiciones de humedad y temperatura afectarán directamente el producto como sucede en Cabrales, donde las condiciones de las cuevas en que maduran son especiales y tienen una micro biota específica para el propósito. Estas condiciones brindan las características únicas al queso ahí producido (Consejo Regulador del Queso Cabrales, 1990). Debido a que el consumidor ecuatoriano tiene entre sus preferencias quesillos, quesos frescos quesos amasados y quesos del tipo mozarela (NTE-INEN-1528, 2012) cuyo tiempo de conservación es corto el correcto almacenamiento y mantenimiento de la cadena de frío permitirá que el producto no pierda las características deseadas en el mercado.

11 Ejemplo práctico de un pliego de condiciones aplicable al Ecuador

Se debe tomar en consideración que, entre los productos lácteos, el Ecuador se caracteriza por la comercialización de quesos frescos no curados, y que las regiones han desarrollado varios tipos de quesos cuya diferenciación radica en su distinto origen. Sobre la base de los pliegos de condiciones españoles (Consejo Regulador del Queso de Tetilla, 1983; **?**; Consejo Regulador Queso Cantabria, 2006; **?**; Consejo Regulador Queso de Murcia, 2011) se puede desarrollar un comparativo ejemplificado de los principios para la posible obtención de una DOP de origen animal en Ecuador, en particular para el

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Queso de Hoja de Cayambe, tal como se expone a continuación:

Nombre: Denominación de Origen Protegido "Queso de Hoja de Cayambe"

Descripción del Producto: Queso no madurado listo para el consumo directo, hecho a partir de cuajada de leche fresca, con masa acidificada, en presencia de bacterias mesófilas nativas no patógenas de Cayambe (NTE-INEN-1528, 2012), sometida a un incremento térmico previo al hilado y amasado del queso, y posteriormente envuelta en hojas de achira (*Canna edulis*) (Fairlie, Morales Bermúdez y Holle, 1999).

Caracterización detallada de la materia prima

Origen: Obtenido a partir de leche fresca de las fincas y haciendas de las parroquias del cantón Cayambe y Pedro Moncayo (Pichincha).

Características cualitativas: Hecho con leche de las siguientes características: densidad 1.028 a 1.034, extracto seco no graso >8.2%, proteína >2.9%, grasa >3% y acidez 0.14%-0.18% (Banville *et al*., 2013).

Fases: La leche es recolectada diariamente en las fincas productores y almacenada a temperaturas <7 °C durante toda la cadena productiva.

Proceso: Leche tratada térmicamente (66 °C, 30 minutos) y conservada a <7 °C (FAO, 2011).

Características y propiedades organolépticas del producto

Organolépticas: (Incluye: pasta, textura, corteza, sabor, aroma). Queso de consistencia semi-blanda, de textura fibrosa y elástica, color blanco amarillento y uniforme, sabor láctico y dulce por la influencia de la hoja de achira, aroma poco desarrollado y láctico.

Físicas: (Incluye: forma, dimensión, peso). Consiste en una masa aplanada de queso hilado y enrollado sobre sí mismo, envuelto de una hoja de achira en forma de tamal, cada pieza tiene una dimensión de 8 a 15 cm. y un peso de 25 a 100 g.

Composición química: (Incluye: grasa, proteína, extracto seco, pH). Con base en sus características, su composición posterior al desuerado tendrá una humedad de 46-48%, concentración de proteína 18%, y de grasa 20% (FUNIBER, 2016), y un pH al momento de empacar de 5,5 a 5,7.

Descripción detallada de la zona geográfica

La descripción detallada de la zona geográfica debe incluir: regiones, división política, límites geográficos, mapas, etc. En este caso, Cayambe y Pedro Moncayo son cantones de Pichincha ubicados en la Sierra ecuatoriana.

El cantón Cayambe (1 382 km^2) se encuentra en el centro geográfico de la línea equinoccial N 0° 0′. Limita al norte con los cantones Cotacachi, Otavalo y Pimampiro (Imbabura), al Sur con el cantón Quito (Pichincha) y el cantón Gonzalo Pizarro (Sucumbíos), al este con el Parque Nacional Cayambe-Coca, y al oeste el cantón Pedro Moncayo y Quito (Pichincha) (GADIP Cayambe, 2016).

El cantón Pedro Moncayo (332 km^2) se ubica ligeramente al Norte de la línea equinoccial N 0° 10′. Limita al Norte con el Cantón Cotacachi, al Sur con el Cantón Quito, al Este con el Cantón Cayambe, y al Oeste con el cantón Quito (GAD Pedro Moncayo, 2016).

Elementos que prueban la procedencia del producto

Seguimiento a las explotaciones ganaderas: Los procesos de producción son regulados por diferentes manuales de buenas prácticas ganaderas, como la Guía de Buenas Prácticas Pecuarias de Producción de Leche, Resolución Técnica nº 217 y nº 842, del 30 de noviembre del 2012 (AGROCALIDAD, 2012).

Seguimiento en las fases de producción: Los ganaderos y productores de materias primas de origen animal que piensan destinar sus productos para este propósito tendrán que basar sus prácticas en estas guías y ser auditados de forma conjunta frente a Agrocalidad (AGROCALIDAD, 2012).

Los productores de alimentos se basarán en la Norma Técnica de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados en el Ecuador (Ministerio de Salud, 2015), y se apoyarán en normas afines y específicas como el Manual de Manufactura y Buenas Prácticas de la Elaboración de Productos Lácteos (FAO, 2011).

Control en el mercado: El control y manejo de la marca se basará en la Ley Orgánica de Regulación y Control del Poder del Mercado (Asamblea Nacional, 2011).

Control de las normas de calidad y Seguridad alimentaria: El control de las normas de calidad se hará con

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

base en la norma NTE-INEN ISO 9001 (**?**), conforme a la NTE-INEN 2537 (NTE-INEN-2537, 2010).

Trazabilidad: De acuerdo con las políticas de autocontrol, se realizarán inspecciones internas que garanticen la trazabilidad con base en lo expuesto en las Guías de Buenas Prácticas Ganaderas.

Vínculos con el medio

Tradicional e históricos: Ubicado en las faldas del nevado, Cayambe es reconocida como una tierra de valles y estribaciones fértiles, en donde se ha desarrollado la agricultura durante generaciones. Considerada una zona tradicionalmente lechera, en esta ciudad se han instalado desde décadas atrás varios centros de procesamiento lácteo. A partir de su leche de "altura" (por encima de los 2 000 msnm) se produce el "Queso de Hoja de Cayambe", siendo éste uno de los motores de la economía local junto a su tradicional bizcocho (GADIP Cayambe, 2016).

Social: La población de Cayambe y la nación Kayambi tienen un vínculo histórico precolombino con la región. Constituye una nación reconocida por el Consejo Nacional de Nacionalidades y Pueblos Indígenas, que impulsa activamente los procesos de desarrollo y reivindicación social que fomenta la Constitución de la República (Kayambi, 2016).

Su agrupación ha tenido gran influencia en diversos movimientos de lucha social, es una fuerza demográfica mayoritaria en las zonas de Cayambe y Pedro Moncayo en Pichincha, además de su participación social en provincias como Imbabura y Sucumbíos. Natural: Ubicado en la mitad geográfica del mundo. Cayambe tiene la particularidad de ser una región de clima templado y frío. Sus suelos son de origen volcánico y están rodeados por una orografía irregular, con alturas que oscilan entre los 1 740 y 5 245 msnm. La temperatura media regional no varía mayormente durante todo el año, fluctuando desde 11.8 °C a 15.1 °C. La precipitación promedio anual varia de 730 a 940 mm, según la región del cantón, con una disminución gradual de las mismas durante los meses de mayo a octubre (IEE, 2013). La vegetación de páramo rodea los valles y ocupan la sección inferior del piso alto andino de la Cordillera Central y del Nudo del Mojanda-Cajas (**?**). En sus valles se encuentran los bosques alto montano y montano (Josee *et al*., 2009).

Sistema de Producción

Agrícola y ganadero: La producción ganadera en la región se hace con pastos mejorados. Principalmente se usan varias líneas de ryegrass (*Lolium hybridum*) y pastos nacionales asociados con la industria láctea (*Lolium multiflorum var*. Pichincha).

La línea ganadera se basa en vacunos mestizos y mejorados con líneas Holstein Frisona, así como con cruces con otras razas lecheras de origen europeo. La producción láctea se realiza principalmente en fincas de tamaño medio y pequeño (Mena-Vásconez, Boelens y Vos, 2016), mediante rebaños pequeños o comunitarios (Bonifaz García y de Jesús Requelme, 2011).

Manejo de la materia prima: El manejo del ganadero está enfocado en la alta calidad de pastos (Roca Fernández y González Rodríguez, 2014), y se basa en la capacidad agroecológica de la zona para la ganadería (Franzluebbers, Sawchik y Taboada, 2014).

Producción y transporte: La leche es ordeñada diariamente en las fincas o comunas del sector, y luego es llevada a las cubas de las fincas productoras o a los centros de acopio autorizados. Posteriormente es transportada directamente a los centros de elaboración artesanal o fábricas autorizadas de la ciudad de Cayambe.

Sistema de elaboración o industrialización: La leche es procesada de forma comunitaria o industrial (en fábricas autorizadas) y su producción es utilizada para la venta de queso de hoja en los comercios locales.

Obtención del producto

a) Se establece el "Queso de Hoja de Cayambe" basado en la clasificación de tipos de queso de la NTE-INEN-2537 (2010), numeral 2.1.17.

b) La coagulación de la leche se realizará entre 32 y 35 °C, durante 30 minutos.

c) Para permitir el desuerado se cortará la cuajada mediante cortes sucesivos.

d) Se añadirá sal y ácido cítrico a la cuba dejándolo actuar sobre los granos.

e) Se recalentará la cuba superando los 60 °C.

f) Una vez que la masa esté suavizada, se empezará a amasar rápidamente procurando reducir las pérdidas de finos.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

g) Se tomará la masa de queso hilado y se aplanará con un bolillo.

h) Se enrollará sobre sí mismo y se procederá a cortar.

i) Se seccionará la nervadura central de una hoja de achira para aplanarla y se la clarificará en agua hirviendo.

j) Se envolverá la pieza de queso con cada hoja y se empacará el producto inmediatamente.

Comercialización y etiquetado

El producto tiene que estar correctamente identificado, respetar los acuerdos comerciales y la normativa local establecida en la norma NTE 1334-1, 1334-2 y 1334-3 (NTE-INEN-1334, 2011). En ella se podrá identificar claramente los sellos reconocidos por el IEPI que lo cualifican como DOP, además de un logo que claramente vincule el producto con la zona geográfica y la marca colectiva. El queso debe expenderse en envases asépticos, herméticamente cerrados, que protejan el producto, sean resistentes, no alteren sus características organolépticas, y ayuden a su conservación y calidad. Además, deben asegurar su inocuidad durante el almacenamiento, transporte y expendio de acuerdo con la norma NTE 1528 (NTE-INEN-1528, 2012).

La comercialización del producto se debe hacer en centros de distribución y comercialización autorizados. Se debe definir una normativa que autorice la distribución de este queso, vinculándolo con la calidad de su procedencia.

Estructura de control y registro

Una vez autorizada la DOP, en este apartado se incluirá la autorización otorgada por el IEPI de acuerdo con el marco legal ya establecido. Constarán las direcciones, contactos y medios digitales de la DOP, así como los derechos y obligaciones de los actores de la DOP, la lista de productores, manufacturadores y comercializadores autorizados, junto a las respectivas acreditaciones.

12 Conclusiones

Una DOP legalmente constituida es reconocida en todo el mundo, y por ello es necesario armonizar la legislación ecuatoriana con respecto a otros estados latinoamericanos y la propia legislación europea. Este tipo de estudios ayudan a plantearse las bases para el desarrollo de una ley específica para una DOP. Para poder desarrollar una DOP es necesario crear una normativa que se adapte a la coyuntura de cada país. En el Ecuador es posible establecer una DOP siempre y cuando exista flexibilidad suficiente que permita la vinculación de varios actores para su desarrollo. Para que las DOP resulten comercialmente atractivas es necesario impulsar la investigación y fomentar la inversión productiva. Para ello es necesario profundizar los estudios multidisciplinarios en el aspecto legal, estudios de calidad interna, buenas prácticas de manufactura, e impacto económico para su desarrollo. Debido a que nacen en muchas ocasiones de la voluntad de la propia comunidad, las DOP pueden ser impulsoras socio-económicas rurales en la región, sobre otro tipo de programas de cooperación internacional e iniciativas productivas industriales. Por el contrario, las políticas públicas, la poca capacidad asociativa y la baja calidad de los productos, limitan el éxito de una DOP. Frente a la coyuntura global de libre comercio interregional, el Ecuador tiene que estar preparado para el uso de alternativas productivas. Con base en el ejemplo del pliego de condiciones del "Queso de Hoja de Cayambe", desarrollado en este trabajo, se puede validar esta propuesta "*in situ*" de acuerdo con las características del producto ampliando su alcance e impacto a otras regiones del país.

Agradecimientos

Al SENESCYT y su programa de Convocatorias Abiertas 2014.

Referencias

ADPIC. 1994. "Acuerdo de la Ronda de Uruguay; Parte II, Normas relativas a la existencia, alcance y ejercicio de los derechos de propiedad intelectual. Art 22 y 23." Acuerdo de la Ronda de Uruguay. [en línea] disponible: https://goo.gl/UBGiPp.

AGROCALIDAD. 2012. "Buenas Prácticas Pecuarias en la Producción de Leche." Agencia Ecuato-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

riana de Aseguramiento de la Calidad del Agro. [en línea] disponible en: https://goo.gl/xZn1x6.

Asamblea Constituyente. 2008. "Constitución de la República del Ecuador." [en línea] disponible: https://goo.gl/1ehukU.

Asamblea Nacional. 2011. "Ley Orgánica de Regulación y Control del Poder del Mercado." Ecuador. [en línea] disponible: https://goo.gl/ePPJiZ.

Asamblea Nacional. 2016. "Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, (Código Ingenios). Capítulo XII." Ecuador. [en línea] disponible: https://goo.gl/94oRdt.

Banville, V., P. Morin, Y. Pouliot y M. Britten. 2013. "Physical properties of pizza Mozzarella cheese manufactured under different cheese-making conditions." *Journal of Dairy Science* 96(8):4804–4815. [en línea] doi: https://doi.org/10.3168/jds.2012--6314.

Bonifaz García, N y N. de Jesús Requelme. 2011. "Buenas prácticas de ordeño y la calidad higiénica de la leche en el Ecuador." *La Granja Revista de Ciencias de la Vida* 14(2):45–57. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n14.2011.04.

Brissaud, D, Y Frein y V. Rocchi. 2013. "What Tracks for Sustainable Production Systems in Europe?" *Procedia CIRP* 7:9–6. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.procir.2013.05.003. Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013.

Café de Colombia. 2009. "IGP/DO." Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. [en línea] disponible: https://goo.gl/Zy3Up8.

Cecchinato, A. y G. Bittante. 2016. "Genetic and environmental relationships of different measures of individual cheese yield and curd nutrients recovery with coagulation properties of bovine milk." *Journal of Dairy Science* 99(3):1975–1989. [en línea] doi: https://doi.org/10.3168/jds.2015--9629.

Comisión de la Comunidad Andina. 2000. "Decisión 486 de la Comunidad Andina. Título XII, Artículos 201 al 223." [en línea] disponible: https://goo.gl/JY6RN3.

Consejo de la Unión Europea. 2006. "Reglamento (CE) No 510/2006 del Consejo sobre la protección de las indicaciones geográficas y de las denominaciones de origen de los productos agrícolas y alimenticios 2 de Julio 2008." [en línea] disponible: https://goo.gl/2GRgMV.

Consejo de la Unión Europea. 2012. "Reglamento (UE) No 1151/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de noviembre de 2012 sobre los regímenes de calidad de los productos agrícolas y alimenticios." [en línea] disponible: https://goo.gl/A4hqcy.

Consejo Regulador de la Mantequilla de Altura de Urgell. 2001. "Pliego de Condiciones de la Denominación de Origen Protegida "Mantequilla de l'Alt Urgell y la Cerdanya" o "Mantega de l'alt Urgell i la Cerdanya"." [en línea] disponible: https://goo.gl/jeM2nb.

Consejo Regulador del Queso Cabrales. 1990. "Denominación de Origen Protegida "Queso Cabrales" Pliego de Condiciones." [en línea] disponible: https://goo.gl/RGZ7ub.

Consejo Regulador del Queso de Tetilla. 1983. "Expediente de la Denominación de Origen Queso de Tetilla Galicia." [en línea] disponible: https://goo.gl/XcCfjP.

Consejo Regulador Queso Cantabria. 2006. "Reglamento de la Denominación de Origen "Queso de Cantabria"." [en línea] disponible: https://goo.gl/cJUxSN.

Consejo Regulador Queso de Murcia. 2011. "Expediente de la Denominación de Origen Protegida (DOP) Queso de Murcia." [en línea] disponible: https://goo.gl/iHUXTE.

Consejo Regulador Queso Manchego. 1995. "Denominación de Origen Protegida "Queso Manchego" Pliego de Condiciones." [en línea] disponible: https://goo.gl/H7dk1k.

Cruz Gómez, J. C, B Lucena Cobos, M Méndez Rodríguez y F. Cáceres Clavero. 2004. "Sistemas de certificación de la calidad en el sector agroalimentario español." Unidad de Prospectiva de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía. [en línea] disponible: https://goo.gl/gzoyEM.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Dora, Manoj, Maneesh Kumar, Dirk Van Goubergen, Adrienn Molnar y Xavier Gellynck. 2013. "Food quality management system: Reviewing assessment strategies and a feasibility study for European food small and medium-sized enterprises." *Food Control* 31(2):607–616. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.12.006.

Fairlie, T, M Morales Bermúdez y M. Holle. 1999. *Raíces y tubérculos andinos. Avances de Investigacíon*. INIAP-Ecuador. [en línea] disponible: https://goo.gl/Dhuj8T.

FAO. 2011. "Procesos para la elaboración de productos lácteos." Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [en línea] disponible: https://goo.gl/XdKvuC.

Fox, P, P McSweeney, T Cogan y TGuinee . 2004. *Cheese Chemistry Physics and Microbiology: Factors That affect Quality of Cheese (pp. 582-587).* Elsevier Academic Press. [en línea] disponible: https://goo.gl/2tGMg9.

Franzluebbers, A. J, J Sawchik y M. Taboada. 2014. "Agronomic and environmental impacts of pasture–crop rotations in temperate North and South America." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 190:18–26. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.09.017. Integrated Crop-Livestock System Impacts on Environmental Processes.

GAD Pedro Moncayo. 2016. "Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Pedro Moncayo." [en línea] disponible: https://goo.gl/zRu1Da.

GADIP Cayambe. 2016. "Municipio del Cantón Cayambe." [en línea] disponible: https://goo.gl/anmtJk.

Guardia, M. D. 2016. "Memorias de Charla Magistral Máster de Calidad de Alimentos de Origen Animal. IRTA." Universidad Autónoma de Barcelona.

Guerrero, Luis, Anna Claret, Wim Verbeke, Geraldine Enderli, Sylwia Zakowska-Biemans, Filiep Vanhonacker, Sylvie Issanchou, Marta Sajdakowska, Britt Signe Granli, Luisa Scalvedi, Michele Contel y Margrethe Hersleth. 2010. "Perception of traditional food products in six European regions using free word association." *Food Quality and Preference* 21(2):225–233. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.003. Third European Conference on Sensory and Consumer Research: A Sense of Innovation.

Hentschel, Jesko y William F Waters. 2002. "Rural Poverty in Ecuador: Assessing Local Realities for the Development of Anti-poverty Programs." *World Development* 30(1):33–47. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/S0305--750X(01)00099--7.

IEE. 2013. "Memoria Técnica de Cantón Cayambe: Generación de Geo información para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional. Clima e Hidrología." Instituto Espacial Ecuatoriano, Ministerio de Defensa, Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, Gobierno de Pichincha. [en línea] disponible: https://goo.gl/k1GjiA.

IEPI. 2016. "Denominación de Origen Identidad Ecuatoriana en Productos Propios." Instituto Ecuatoriano de la Propiedad Intelectual. [en línea] disponible: https://goo.gl/KwFXtW.

Johnson, M.E. 2017. "A 100-Year Review: Cheese production and quality." *Journal of Dairy Science* 100(12):9952–9965. [en línea] doi: https://doi.org/10.3168/jds.2017--12979.

Josee, C, F Cuesta, G Navarro, V Barrena, E Cabrera, E Chacón-Moreno, W Ferreira, M Peralvo, J Saito y A. Tovar. 2009. "Ecosistemas de los Andes del Norte y Centro. Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. pp. 20-24." Secretaría General de la Comunidad Andina, Programa Regional ECOBONA-Intercooperation, CONDESAN-Proyecto Páramo Andino, Programa BioAndes, EcoCiencia, NatureServe, IAVH, LTA-UNALM, ICAE-ULA, CDC-UNALM, RUMBOL SRL. Lima. [en línea] disponible: https://goo.gl/5oWDeA.

Kayambi. 2016. "Reseña histórica de los Kayambis." [en línea] disponible: https://goo.gl/2eVahy.

Legislación Chilena. 2005. "Ley Número 19039, Ley de Propiedad Industrial Titulo IX." Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. [en línea] disponible: https://goo.gl/GJn5xZ.

Llorente, M. 2001. "La fuerza de la diferencia. La Denominación de Origen un instrumento, para el desarrollo." La Val de O, Huesca España. [en línea] disponible: https://goo.gl/vAaXGq.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Maldonado, M. 2017. "Estudio comparativo para obtención de una D.O.P. en Ecuador en base al caso europeo." CGSIN 2CNIA-2017-032. [en línea] disponible en: https://goo.gl/i4RufN.

Mena-Vásconez, Patricio, Rutgerd Boelens y Jeroen Vos. 2016. "Food or flowers? Contested transformations of community food security and water use priorities under new legal and market regimes in Ecuador's highlands." *Journal of Rural Studies* 44:227–238. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2016.02.011.

Ministerio de Salud. 2015. "Norma Técnica Sustitutiva de Buenas Prácticas de Manufactura para Alimentos Procesados en Ecuador. Registro Oficial 555." Ecuador. [en línea] disponible: https://goo.gl/LHBQQ6.

Molina, M. 2015. "La protección de la Denominación de Origen, indicación geográfica e indicación de procedencia. estudio comparativo de las legislaciones de los estados latinoamericanos y español." *RIVAR* 2(6):46–69. [en línea] disponible: https://goo.gl/2BUZFj.

NTE-INEN-1334. 2011. "Rotulado de Productos Alimenticios para Consumo Humano.".

NTE-INEN-1528. 2012. "Norma General para Quesos no Madurados.".

NTE-INEN-2537. 2010. "Sistema de Gestión Integral para la Micro, Pequeña y Mediana Empresa. Requisitos.".

Oberthür, Thomas, Peter Läderach, Huver Posada, Myles J. Fisher, Luis F. Samper, Julia Illera, Laure Collet, Edgar Moreno, Rodrigo Alarcón, Andres Villegas, Herman Usma, Carolina Perez y Andy Jarvis. 2011. "Regional relationships between inherent coffee quality and growing environment for denomination of origin labels in Nariño and Cauca, Colombia." *Food Policy* 36(6):783–794. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2011.07.005. Between the Global and the Local, the Material and the Normative: Power struggles in India's Agrifood System.

Oyarzun, M. T. 2011. "Memorias del Seminario-Taller de las Indicaciones Geográficas y Denominaciones de Origen en Ecuador." Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [en línea] disponible: https://goo.gl/Y9eEv6.

Requelme, N y N. Bonifaz. 2012. "Caracterización de Sistemas de Producción Lechera de Ecuador." *La Granja Revista de Ciencias de la Vida* 12(1):55–69. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n15.2012.05 .

Roca Fernández, A. I y A. González Rodríguez. 2014. "Ingestión de hierba y producción de leche en pastoreo." *Informativo Veterinario* p. [en línea] disponible: https://goo.gl/3r1aMQ.

Sellers, R y J. Nicolau. 2001. "La calidad y su impacto sobre la rentabilidad y la volatilidad." Universidad de Alicante. Departamento de Marketing. [en línea] disponible: https://goo.gl/19t5xe.

Senado Argentino. 2004. "Ley Argentina, Ley 25.380, Régimen Legal para las Indicaciones de Procedencia y Denominaciones de Origen de Productos Agrícolas y Alimentarios." [en línea] disponible: https://goo.gl/gA1yTb.

Tolentino Martínez, J. M. 2015. La Denominación de Origen como elemento de análisis institucional. El caso del arroz de Morelos. In *20 Encuentro Nacional Sobre Desarrollo Regional en México. Cuernavaca, Morelos Amecdir UNA. [en línea] disponible: https://goo.gl/AinWJC*.

Trienekens, Jacques y Peter Zuurbier. 2008. "Quality and safety standards in the food industry, developments and challenges." *International Journal of Production Economics* 113(1):107–122. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2007.02.050. Research and Applications in E-Commerce and Third-Party Logistics Management Special Section on Meta-standards in Operations Management: Cross-disciplinary perspectives.

Unión de Lisboa. 1979. "Arreglo de Lisboa relativo a la Protección de las Denominaciones de Origen y su Registro Internacional del 31 de octubre de 1958, revisado en Estocolmo el 14 de julio de 1967 y modificado el 28 de septiembre de 1979." [en línea] disponible: https://goo.gl/CKspPm.

Unión Europea. 2014. "Comisión Europea Seguridad Alimentaria; De la granja a la mesa: alimentos sanos y seguros para todos." [en línea] disponible: https://goo.gl/2Yf545.

Unión Europea. 2015. "Geneva Act of the Lisbon Agreement on Appellations of Origin and Geographical Indications. Chp III y IV." [en línea] disponible: https://goo.gl/QZzjaJ.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Valdivielso, I., M.A. Bustamante, A. Aldezabal, G. Amores, M. Virto, J.C. Ruiz de Gordoa, M. de Renobales y L.J.R. Barron. 2016. "Case study of a commercial sheep flock under extensive mountain grazing: Pasture derived lipid compounds in milk and cheese." *Food Chemistry* 197:622–633. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.133.

Vandecandelaere, E, F Arfini, G Belletti y A. Marescotti. 2010. "Uniendo personas, territorios y productos, guía para fomentar la calidad vinculada al origen y las indicaciones geográficas sostenibles." Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación. [en línea] disponible: https://goo.gl/Bs1U6o.

WTO. 2009. "TPR 214 Informe de políticas y prácticas comerciales." [en línea] disponible: https://goo.gl/zGXQda.

WTO. 2012. "Revista General de la Evolución del Entorno Comercial Internacional." [en línea] disponible: https://goo.gl/1S297n.

Yoon, Yohan, Soomin Lee y Kyoung-Hee Choi. 2016. "Microbial benefits and risks of raw milk cheese." *Food Control* 63:201–215. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.11.013.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La Granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02

Reseña bibliográfica / Review

Remediación

CC BY NC SA

ABYA YALA | UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao

Heavy metals remediation with potential application in cocoa cultivation

Javier Andrés Casteblanco

Universidad Pedagógica Y Tecnológica De Colombia UPTC, Avenida Central del Norte 39-115, 150003 Tunja, Tunja, Boyacá, Colombia.

*Autor para correspondencia: javierancaste@hotmail.com

Manuscrito enviado el 7 de agosto de 2017. Aceptado, tras revisión el 5 de enero de 2018. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

El cacao (*Theobroma cacao*) a nivel mundial ha aumentado su área sembrada y rendimiento por hectárea, sin embargo actualmente los productores se enfrentan a una fuerte legislación emanada por la Unión Europea respecto a los contenidos máximos de plomo y cadmio que deben tener los chocolates que contienen una cantidad mayor o igual al 50% de sólidos de cacao. En base a una revisión de los trabajos realizados alrededor del mundo y que han sido publicados en los últimos tres años en bases de datos mundiales se presentan, en primera instancia, los problemas ocasionados en las personas por el consumo de alimentos contaminados por metales pesados y las rutas a través de las cuales se puede contaminar el cacao, desde su siembra hasta su procesamiento. A continuación y dando cumplimiento a el objetivo de la revisión se muestran las técnicas de remediación (fitoremediación y bioremediación) que han obtenido buenos resultados respecto a la limpieza de suelos contaminados o que evitan la traslocación de los contenidos de plomo y cadmio del suelo a varios cultivos de interés comercial para tener opciones de potencial aplicación en las zonas cacaoteras de Colombia o cualquier parte del mundo. De los resultados obtenidos se resalta la importancia que tiene la implementación de un sistema integrado de remediación de suelos que incluya la incorporación gradual de árboles nativos, plantas herbáceas, plantas acuáticas, biochar, bacterias y micorrizas arbusculares.
Palabras claves: Fitoremediación, bioremediación, plomo, cadmio.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

Cacao (*Theobroma cacao*) worldwide has increased its area sown and yield per hectare, however currently producers are facing strong legislation issued by the European Union regarding the maximum levels of lead and cadmium that must have chocolates that contain an amount greater than or equal to 50% cocoa solids. Based on a review of the work carried out around the world and published in the last three years in global databases are presented, in the first instance, the problems caused in people by the consumption of food contaminated by heavy metals and the routes through which the cocoa can be contaminated, from its planting to its processing. The remediation techniques (phytoremediation and bioremediation) that have obtained good results regarding the cleaning of contaminated soils or that avoid the transfer of the contents of lead and cadmium from the soil to several Crops of commercial interest to have options of potential application in the cacao areas of Colombia or anywhere in the world. The results show the importance of implementing an integrated soil remediation system that includes the gradual incorporation of native trees, herbaceous plants, aquatic plants, biochar, bacteria and arbuscular mycorrhizae.
Keywords: Phytoremediation, bioremediation, lead, cadmium

Forma sugerida de citar: Casteblanco, J. A. 2018. Técnicas de remediación de metales pesados con potencial aplicación en el cultivo de cacao. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):21-35. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.02.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

El cacao es un producto alimenticio ha tenido un crecimiento bastante marcado en los países productores debido a su fácil manejo y los excelentes beneficios económicos que presenta (TECHNOSERVE, 2015). Sin embargo los productores de cacao de todo el mundo se inquietaron cuando la Unión Europea anunció planes para aplicar regulaciones respecto a que el chocolate que contienen una cantidad mayor o igual al 50% de sólidos de cacao debía contener un máximo de 0,3 mg/kg de cadmio y 1 mg/kg de plomo (CODEX Alimentarius, 2015).

El plomo o el cadmio en los suelos puede tener un origen natural o antrópico, pero independientemente de ello las plantas lo absorben y puede acumularlo en distintas estructuras y proporciones (Londño Franco, Londoño Muñoz y Muñoz García, 2016; Covarrubias y Cabriales, 2017). Esta situación se presenta en el cacao con acumulación importante en sus semillas y hojas (Guerra Sierra *et al*., 2014) y dado que la mayoría de los productos derivados del cacao son consumidos por niños se hace necesario minimizar la presencia de estos metales en el producto final (CODEX Alimentarius, 2015).

El objetivo de esta revisión es señalar parte de la investigación que en los últimos tres años se ha desarrollado a nivel mundial respecto a las técnicas de remediación (fitoremediación y bioremediación) de metales pesados presentes en el suelo, con énfasis en plomo y cadmio, y que potencialmente podría ser utilizada para manejar los niveles presentes en las zonas productoras de Colombia o cualquier parte del mundo.

2 Marco referencial

El árbol del cacao se cultiva en las regiones tropicales. Es comercialmente cultivado entre 15° al norte y 15° al sur de la línea ecuatorial. El rango de temperatura promedio anual va de 23 a 30 °C. Se cultiva desde el nivel del mar hasta los 1 200 msnm. Asimismo, necesita humedad relativa anual promedio de entre el 70% y 80% (Vizcaíno Cabezas y Betancourt, N.d.; Ramírez Sosa y Orrego Suaza, 2014).

La producción mundial de cacao (*T. cacao L.*) se ha incrementado linealmente desde 1,2 millones de toneladas en 1961 a 4,6 millones de toneladas de cacao en grano seco en 2013. Durante el mismo período, la superficie anual de cacao tuvo un incremento anual promedio del 2,5% (Vanhove, Vanhoudt y Damme, 2016) y aunque la demanda mundial de cacao sigue aumentando se evidencia al mismo tiempo que la producción declina como consecuencia de múltiples factores incluyendo plagas y enfermedades, disminución de la fertilidad del suelo y un clima cada vez más caliente y seco (TRANSMAR GROUP, 2014; Blaser *et al*., 2017), y esto ha venido acompañado de un aumento en los precios internacionales de comercialización del cacao en virtud de la elevación de los precios del petróleo, lo que encarece la producción de fertilizantes, plaguicidas y combustibles (Callejas, 2016), incluso a partir del 2001 se empezó a hablar de un déficit del cacao que se consolidaría hacia 2020, debido al decrecimiento de la producción, generado por las malas condiciones de los cultivadores en los principales países de origen, sumado al aumento del consumo industrial, que ha sido estable en los últimos años (ProExport Colombia, 2014).

La producción mundial de cacao es absorbida principalmente por tres países (60% de las importaciones), siendo Suiza el mayor importador (29,4%), seguido de Estados Unidos (16,7%) y Alemania con 13,9%. La mayor parte de las exportaciones seguirá siendo de cacao en grano, aunque hay intentos de los países productores en añadir más valor y es de esperarse que dentro de veinte años, el cacao sea tan escaso, que convierta al chocolate en un carísimo producto de lujo, el chocolate auténtico será dentro de dos décadas un carísimo y escaso producto que hará honor a su origen: Theobroma cacao, "el alimento de los dioses" (Anga, 2015).

Los altos precios internacionales y la demanda por parte de las industrias procesadoras ha generado que la dinámica mundial del cacao se encuentre activa, incentivando así las expectativas por parte de los productores colombianos ya que a lo anterior se suma el trabajo que viene haciendo la Federación nacional de cacaoteros, FEDECACAO, relacionado con el posicionamiento y reconocimiento de la calidad del cacao a nivel internacional, lo cual se traduce en nuevas oportunidades de mercado para los granos de altísima calidad producidos por los cacaocultores de todas las regiones del país. En tal sentido, se espera seguir acrecentando la presencia en los mercados internacionales donde ya comienza a reconocerse el cacao colombiano como fino de sabor y aroma y se espera poder obtener unas primas extras sobre el precio base, lo cual también se traduce en mejores ingresos y servicios para los ca-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

caocultores (Cacao de Colombia, 2014).

Dada esta importancia social y económica del cacao, varios países productores y exportadores, incluyendo Colombia, se muestran interesados en conocer los niveles de metales pesados presentes en las zonas de cultivo (Jaramillo, 2013; Reyes *et al*., 2016; CAOBISCO/ECA/FCC, 2015), ya que en los últimos años han existido progresivas regulaciones de la Comunidad Europea, donde se establecen unos límites máximos respecto al contenido permisible de plomo y cadmio en el chocolate y otros derivados del cacao comercializados en Europa, Tabla 1, según los reglamentos CE 1881/2006 y CE 488/2014 (FAO/WHO, 2014; Lanza *et al*., 2016; Chavez *et al*., 2015).

Tabla 1. Contenidos máximos permisibles de plomo y cadmio en el chocolate (CODEX Alimentarius, 2015). Sobresale el alto valor asignado para chocolates con % total de materia seca $\geq 50\,\%$

Producto	% total materia seca	Límite máximo de cadmio permitido**
Chocolate de leche	<30 %	0,10 mg/kg
Chocolate de leche	$\geq 60\,\%$	0,30 mg/kg
Chocolate	<50 %	0,30 mg/kg
Chocolate	$\geq 50\,\%$	0,80 mg/kg
Cacao en polvo*	-	0,60 mg/kg

* Este límite aplica tanto al chocolate en polvo o cacao en polvo vendido al consumidor final como al usado como ingrediente en cacao en polvo edulcorado vendido al consumidor (chocolate para tomar)
** Estos límites empezarán a regir a partir de 1 de enero de 2019.

En consecuencia es fundamental para cualquier país contar con datos de referencia sobre el contenido de plomo y cadmio en los alimentos, sobre todo en aquellos que son consumidos preferentemente por niños, como lo es el cacao, lo cual les permitirá fijar una posición clara ante las regulaciones internacionales que podrían representar un riesgo para las exportaciones del producto y encaminar las investigaciones necesarias para manejar la incidencia y severidad de este problema sobre la salud de las personas (Uyttendaele, Boeck y Jacxsens, 2016), haciendo énfasis en las técnicas naturales y de fácil acceso para los agricultores conocidas como remediación, que incluyen conceptos como fitoremediación (empleo de material vegetal que disminuye la presencia del metal en las plantas de interés) (Ahkami *et al*., 2017; Tahir, Yasmin y Khan, 2016; Luo *et al*., 2016) y bioremediación (empleo de microorganismos solos o en conjunto de material vegetal que disminuye la presencia del metal en las plantas de interés (Brown *et al*., 2017; Galdames *et al*., 2017; Leal *et al*., 2017; Aggangan *et al*., 2017).

3 Problemas asociados a cadmio y plomo

Las recientes investigaciones sobre la contaminación con plomo y cadmio, y otros metales pesados, en los alimentos (Al-Hossainy *et al*., 2017; Perryman *et al*., 2017; Siriangkhawut *et al*., 2017), y sus consecuencias sobre la salud humana como afecciones con lesiones en el embarazo, irritación gastrointestinal, náuseas, vómitos, daños renales, enfisema, y cáncer pulmonar (Antoine, Fung y Grant, 2017; AbuShady *et al*., 2017; Shakir, Zahraw y Al-Obaidy, 2017; Amadi, Igweze y Orisakwe, 2017) dejan ver claramente las razones acerca de la preocupación que se ha despertado a nivel mundial sobre esta temática y sobre todo debido a la acumulación progresiva de estos metales en los tejidos de humanos y animales lo que trae como consecuencia daños a nivel genético molecular (Abarshi, Dantala y Mada, 2017; Al-Gburi, Al-Tawash y Al-Lafta, 2017; Skiba, Kobylecka y Wolf, 2017; Nkansah *et al*., 2016). Respecto a la entrada del Cadmio en el cuerpo (Díaz García y Arceo, 2017) determina que se hace vía gástrica con un mecanismo de daño que incluye: disfunción por formación de radicales libres, apoptosis o activación por vía de las caspasas,

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

desnaturalización proteica y por disminución de la resistencia transepitelial. Respecto a la entrada del plomo en el cuerpo, este mismo autor, determina que se hace vía gástrica, respiratoria y por contacto, con diversos mecanismos que incluyen: almacenamiento en huesos, daño mitocondrial y formación de radicales libres, apoptosis, inflamación por activación FN-kβ, SRAA y atracción de macrófagos y disminución de producción de NO.

Chumbipuma, en 2016 describe que con respecto al plomo sus efectos sistémicos son inespecíficos, incluyen adinamia, trastornos del sueño, cefalea, dolores en huesos y músculos, síntomas digestivos (estreñimiento), dolor en abdominales, náuseas, vómito y disminución del apetito. También refiere que la toxicidad aguda por plomo se presenta luego de una exposición respiratoria a altas concentraciones, con encefalopatía, insuficiencia renal y síntomas gastrointestinales y finalmente concluye que los trabajadores expuestos por mucho tiempo y sin medidas de protección personal pueden presentarse con una polineuropatía periférica, que afecta predominantemente los miembros superiores, los músculos extensores que los flexores y más el lado dominante, lo que se ha dado en llamar la "mano del pintor" porque se presentaba en estos trabajadores por el uso de pinturas con alto contenido de plomo.

Anderson, en 2016 demostró que el incremento de las concentraciones de plomo en la sangre de jóvenes estudiantes universitarios disminuye la vitalidad y la movilidad lineal rápida en sus espermatozoides. Según Londño Franco, Londoño Muñoz y Muñoz García (2016), la Organización Mundial de la Salud menciona con respecto al cadmio que la presentación y severidad de los signos, síntomas y alteraciones en el organismo se relaciona con las cantidades, el tiempo de exposición y con la vía de entrada del metal; en exposición crónica se observa anemia, disfunción renal, cálculos renales, osteoporosis, osteomalacia, trastornos respiratorios, hipertensión, trastornos nerviosos (cefalea, vértigo, alteración del sueño, tremores, sudoración, paresia, contracciones musculares involuntarias), pérdida de peso y apetito, cáncer de próstata y pulmón; en intoxicación aguda hay neumonitis y edema pulmonar, gastroenteritis, náuseas, vómito, dolor abdominal, diarrea, fallo renal, y finalmente puede ocurrir aberraciones cromosómicas, efectos teratogénicos y congénitos y que en el riñón (túbulos renales) se puede acumular hasta por treinta años.

Contaminantes en cacao

Los contaminantes metálicos del cacao pueden definirse como aquellos metales, no añadidos intencionalmente, que se encuentran presentes en el cacao como resultado de la producción (Chavez *et al*., 2015; Ramtahal *et al*., 2016), fabricación, elaboración, preparación (Vargas-Moreno *et al*., 2017), tratamiento, empaquetado, transporte, almacenamiento o como producto de contaminaciones ambientales con potencialidad de presentar riesgos sobre la salud de las personas (CODEX Alimentarius, 2015; Londño Franco, Londoño Muñoz y Muñoz García, 2016). Estos metales pueden hallarse en los suelos de forma natural o como resultado de la actividad antropogénica, ser absorbidos por las plantas, concentrados en las semillas y tomados de ellas por el ser humano, lo cual constituye un riesgo potencial para la salud (Amadi, Igweze y Orisakwe, 2017; Paul, 2017; El-Amier, Elnaggar y El-Alfy, 2017).

Diversas investigaciones han demostrado que durante el proceso del beneficio del cacao, existen variaciones en las características fisicoquímicas del grano, en función del tipo de fermentador utilizado y del tiempo de secado, que pueden afectar las concentraciones de los metales, así como la calidad e inocuidad del producto final (Uyttendaele, Boeck y Jacxsens, 2016; Lares Amaiz *et al*., 2013).

Dentro de este marco, es claro que la fuente de origen de contaminación con plomo y/o cadmio del cacao es diversa, la translocación desde el suelo hacia las distintas partes de la planta es compleja y poco estudiada y la manifestación de su presencia trae consecuencias que son palpables no solo para las plantas sino también para el ser humano y por ello es necesario actualizar las técnicas disponibles que existen sobre el manejo de este problema en distintos cultivos, para tener un marco de referencia que potencialmente pueda ser aplicado en el cacao, y así poder seleccionar aquellas que más sean apropiadas para las condiciones ambientales y naturales en las cuales se desarrolla este cultivo dentro de Colombia o en cualquier parte del mundo.

4 Fitoremediacion de metales pesados

Las especies vegetales ideales para la fitoextracción son aquellas que poseen la capacidad de acumular y tolerar altas concentraciones de metales en el tejido cosechable (Tariq y Ashraf, 2016) y esto es posible

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

ya que ellas tienen el poder de eliminar contaminantes que persisten en el medio ambiente a través de diversos mecanismos como la fitofiltración, fitoestabilización, fitoextracción, fitovolatización y fitotransformación (da Conceição Gomes *et al*., 2016), además de la contención y la degradación de metales, compuestos fenólicos y colorantes diversos, así como otros contaminantes orgánicos e inorgánicos (Tahir, Yasmin y Khan, 2016). A continuación se presentan investigaciones en fitoremediación que presentan potencialidad de ser aplicadas en el cultivo de cacao, dada la disponibilidad del material con el que se trabajó.

Tariq y Ashraf (2016) señalaron que los hiperacumuladores poseen diferentes potenciales de acumulación para diferentes metales. El estudio desarrollado por ellos a nivel de laboratorio demostró que el maíz (*Zea mayz*) es un hiperacumulador para Co y Cr después de la aplicación de un quelante como EDTA, mientras que el girasol (*Helianthus annuus*) demostró ser un hiperacumulador para Cd en condiciones similares, con una remoción del 56,03%. La planta de nabo (*Brassica campestris*) exhibió propiedades hiperacumulativas para Cr. Por otra parte, la arveja (*Pisum sativum*) se encontró que es el mejor acumulador de Pb sin aplicación del quelato EDTA con una eficiencia de remoción del 96,23% (Ojoawo, Udayakumar y Naik, 2015; Tariq y Ashraf, 2016).

Se ha comprobado que la habilidad de la soja (*Glycine max*) para acumular metales pesados presentes en el suelo es baja comparada con su natural predisposición a tolerarlos (Ibiang, Mitsumoto y Sakamoto, 2017), sin embargo se evidenció que su poder acumulador se puede potencializar al sembrarla en conjunto con material del género *Melastoma* (Syam *et al*., 2016). Otro trabajo ha comprobado la efectividad de la soja como hiperacumuladora de cadmio, pues agregando hasta 300 mg/Kg de nano particulas de TiO_2 en el suelo se obtiene hasta un 400% adicional de μg de cadmio/planta (Singh y Lee, 2016).

La corteza y hojas de *Moringa oleifera* se puede utilizar como absorbente alternativo para la eliminación de metales pesados de aguas contaminadas a través de una técnica de obtención de ácido cítrico modificado (CAMOB y CAMOL, por sus siglas en inglés) y su uso en suelos se plantea como potencial para investigación (George *et al*., 2016). A nivel del suelo se han usado aplicaciones de extracto foliar para concentrar los contenidos de plomo del suelo en donde se cultiva frijol (*Phaseolus vulgaris*) logrando un notable mejoramiento en el estrés ocasionado por este elemento a través de la activación del sistema antioxidante de las raíces del frijol (Howladar, 2014).

Un estudio desarrollado en la frontera entre India y Pakistán, en un área cultivada con caña de azúcar y sorgo, en donde se usan grandes cantidades de fertilizantes fosforados, que están reportados como fuentes de metales pesados en los suelos resultaron en reportes del uso potencial de estas plantas como fitoextractoras de plomo, cadmio y cobre pues sus Factores de Bioacumulación de Metales (BAF) estuvieron alrededor de 1, lo que resulta ser un muy buen indicador (Singh y Lee, 2016). En Estados Unidos, el sorgo sembrado en suelos contaminados por metales pesados también mostró su habilidad fitoextractora, solo o en mezcla con micorrizas arbusculares del tipo *Azotobacter chroococcum* (Dhawi, Datta y Ramakrishna, 2016).

Los humus extraídos de materiales compostados de residuos de la extracción de palma de aceite *Elaeis guineensis*, principalmente los racimos vacíos, mejorados con adición de fertilizantes de base NPK fueron evaluados en su poder fertilizante y de fitoextraccion de metales pesados, especialmente el cobre (Cu) en plantas de pepino (*Cucurbita pepo*). Los resultados indican que el contenido nutricional de los racimos vacíos es bajo, pero el aporte de potasio es el más significativo. Respecto a su efecto en los metales pesados se concluyó que con adición suplementaria de Nitrógeno se mejora la extracción de cobre, tal como había resultado en otros trabajos desarrollados por Moreira et al en 2011 (Winarso, Pandutama y Purwanto, 2016).

Un cultivo igualmente promisorio para la extracción de metales pesados es la colza o canola (*Brassica napus*), debido a varias ventajas: 1. tiene gran capacidad de acumular metales (2000 mg/K para cadmio), 2. produce bastante biomasa, es fácil de cultivar y tiene gran adaptabilidad climática y 3. puede ser usada en la industria.

En China se hizo un estudio que comprobó que existen variedades que acumulan cadmio en sus raíces o semillas y por esta razón si la variedad con la que se trabaja hiperacumula en la semilla debe ser usada para la fabricación de biodiesel y en caso contrario, que la hiperacumulación ocurra en las raíces ésta debe ser usada en la fabricación de aceites vegetales comestibles (Fu *et al*., 2016). Otra investigación comprobó que esta planta tiene un poder hiper-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

acumulador de zinc y que se desarrolla muy bien en suelos contaminados con este metal (Belouchrani *et al*., 2016).

Con el fin de remover plomo y cadmio de aguas residuales, y con potencial uso en suelos regados con estas aguas, se emplearon plantas de las especies *Eichhornia sp., Lemna sp., Spirodella sp., Azolla sp., Pistia sp.* y se concluye que es promisorio el uso de Lemma sp por su excelente hiperacumulación de los dos metales, independientemente del pH del agua tratada (Verma y Suthar, 2015).

Se trabajó en Egipto con *Solanum nigrum* y se comprobó que tiene un gran poder de acumulación de zinc en sus raíces y hojas, de plomo en sus tallos y frutos, de cobalto en sus raíces y frutos. Se resalta que los niveles encontrados en sus tejidos muchas veces fueron superiores a los encontrados en el suelo estudiado (Saad-Allah y Elhaak, 2017). Se ha encontrado que esta planta se encuentra asociada a micorrizas arbusculares del *Phylum Ascomicota* y por ello su excelente rol como hiperacumuladora de cadmio (Khan *et al*., 2017).

En Australia se comprobó la fitoextracción producida por *Acacia pycnantha* y *Eucalyptus camaldulensis* concluyendo que el *E.camaldulensis* presenta en sus hojas un 1 500% más de cobre que los niveles presentes en el suelo; que el promedio de factores de bioconcentración son más altos en *E.camaldulensis* y están muy cercanos a uno (1) para el cobre, zinc, cadmio y plomo y además el factor de traslocación de zinc y cadmio es más alto en *Acacia pynantha* (Nirola *et al*., 2015). En Italia con la aplicación durante cuatro años de un Sistema Integrado de Fitoremediación (IPS), que incluye *Acacia saligna, E. camaldulensis*, rhizobacterias y micorrizas se comprobó que se puede producir una fitoestabilización en el suelo de plomo, cadmio y zinc (Guarino y Sciarrillo, 2017).

La capacidad de *Marsilea crenata* para acumular plomo en sus raíces y trasladarlo hacia sus hojas y rebrotes fue comprobado mediante un experimento a nivel de laboratorio en plantas de tomate. Las evaluaciones fueron hechas mediante la técnica de medición de sus respuestas bioeléctricas y se pudo establecer que esta planta puede ser utilizada como bioindicadora de contaminación por plomo en cultivos comerciales de arroz o tomate, pues sus hojas se tornan amarillentas cuando en el suelo hay presencia excesiva de este metal (Nurhayati, Hariadi y Lestari, 2015).

En un estudio desarrollado bajo condiciones de invernadero en Túnez se evaluó el papel de la alfalfa *Medicago sativa* y se encontró que su factor de bioconcentración (la relación entre el contenido de los metales en el suelo respecto al contenido en el follaje) demuestra su potencial uso en cualquier cultivo aprovechando el amplio rango de adaptación presente en esta leguminosa (Elouear *et al*., 2016). Estos resultados se ajustan a otros encontrados por (Flores-Cáceres, 2013), (Coyago y Bonilla, 2016).

5 Bioremediacion de metales pesados

La bioremediación utiliza agentes biológicos (microorganismos) para la eliminación completa de contaminantes y/o sustancias tóxicas del medio ambiente, mientras que la transformación de contaminantes tóxicos en formas inocuas a través de las modificaciones químicas llevadas a cabo por organismos vivos (bacterias y hongos) se denomina biotransformación (Dzionek, Wojcieszynska y Guzik, 2016). En estos sentidos se han desarrollado en los últimos años trabajos de investigación que han tenido bastante éxito y que muestran posibles mecanismos de bioremediación de suelos contaminados (Benyahia y Embaby, 2016), y que presentan potencialidad de ser aplicadas en el cultivo de cacao, dada la facilidad de conseguir el material biológico con el cual se trabajó.

Una de las dificultades que se le otorgan a la bioremediación es el largo tiempo que ha de pasar para que se vean los efectos, sin embargo en trabajos desarrollados en distintas partes del mundo se ha comprobado que las bacterias endófitas asociadas a especies vegetales hiperacumuladoras favorecen la eficiencia del proceso de bioremediación y aumentan la producción de biomasa vegetal mediante tres mecanismos: (1) incremento de la superficie de la raíz y la producción de pelos radiculares, (2) incremento de la disponibilidad de los metales, (3) Incremento en la transferencia de metales solubles desde la rizósfera hasta la planta (Ahemad, 2015). Algunas de las especies de bacterias utilizadas para mejorar la extracción de metales pesados e hidrocarburos son: *Burkholderia sp* (Yang *et al*., 2016), *Scirpus triqueter* (Chen *et al*., 2017), *Pseudomonas sp* J4AJ (Di Martino, 2015), *Bacillus subtilis* (Oyetibo *et al*., 2017), *Microbacterium sp.* SUCR140 (Soni *et al*., 2013), *Delftia sp.* JD2 (Ahemad, 2015).

En Brasil se diseñó un sistema de rehabilitación

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

que incluía la plantación de *E. camaldulensis* en surcos y *Brachiaria decumbens* entre los surcos intermedios, acompañado de siembra de micorrizas arbusculares del tipo *Glomus sp*, que ya ha sido usado en programa de rehabilitación de áreas contaminadas por metales pesados (Liu *et al*., 2017). Se encontró un gran poder de extracción, en esta combinación de materiales en la *Brachiaria*, con un orden de eficiencia de acumulación en su biomasa de Zn, Cu, Cd y Pb. Además se concluye en este trabajo que el conocimiento de la dinámica de estos hongos en su papel rehabilitador de suelos contaminados contribuye a la revegetalización y establecimiento de nuevos materiales vegetales en áreas muy contaminadas (Lopes *et al*., 2016; Nirola *et al*., 2015). También se ha trabajado con incorporación al suelo de micorrizas arbusculares *Glomus mosseae, Glomus intraradices, Glomus etunicatum* para minimización de cadmio en el suelo y se encontró que *Bassia indica* puede ser utilizada en mezcla con estos hongos para disminuir la dispersión del cadmio en el suelo (Hashem *et al*., 2016).

La aplicación de biochar de *Conocarpus* en el suelo al momento de la siembra redujo significativamente las concentraciones de metales pesados en plantas de maíz, mostrando un gran poder de inmovilización: 60,5% en manganeso, 28% en zinc, 60% en cobre, 47% en cobre (Al-Wabel *et al*., 2015).

En un test realizado a nivel de laboratorio en Austria, en plantas de maíz inoculadas con la bacteria *Burkholderia phytofirmans* PsJN en mezcla con lodos de grava se comprobó que ésta mejora significativamente la fijación de metales pesados en el suelo, evitando que contaminen el material vegetativo a través de procesos de inmovilización y estabilización (Touceda-González *et al*., 2015; Yang *et al*., 2016).

En la India se investigó la habilidad natural de las bacterias nativas para reducir y destoxificar de plomo, cadmio y cromo los efluentes industriales de curtiembres depositados en ríos y tierras aledañas a las fábricas. Después de hacer una caracterización bioquímica se encontró que *Micrococcus sp* y *Hafnia sp* tienen gran potencial de bioremediación de los citados metales (Marzan *et al*., 2017).

La bacteria *Microbacterium oleivorans* ha sido estudiada por su poder de descomponer hidrocarburos aromáticos policíclicos, como el petróleo, y también se ha evaluado para descontaminar tierras contaminadas con metales pesados encontrándose que aún en pequeñas dosificaciones sus resultados son bastante alentadores para continuar probándola en diferentes condiciones y cultivos (Avramov *et al*., 2016; Xia *et al*., 2015).

Los microorganismos cuentan con amplias capacidades metabólicas que les permiten utilizar diferentes tipos de sustratos con el objetivo de obtener energía y en muchos casos transformarlos, los metales pesados son sustratos que pueden ser inmovilizados o transformados por estos organismos utilizando diversas estrategias lo cual puede afectar su biodisponibilidad.

Esta situación ha permitido que se puedan implementar técnicas de biorremediación que involucren el uso de hongos y bacterias con el fin de reducir la carga contaminante de diversos ambientes (Beltrán-Pineda y Gómez-Rodríguez, 2016). La utilización de técnicas de ingeniería genética ha permitido manipular cepas microbianas que exhiben naturalmente buenas capacidades biorremediadoras para generar microorganismos con capacidades potenciadas que muestran resultados promisorios en estudios a nivel in vitro y a nivel de campo, sin embargo, los mejores resultados se han obtenido al utilizar en conjunto las capacidades de plantas y microorganismos en un mecanismo conocido como simbiótico (Baghour *et al*., 2001).

Las plantas hiperacumuladoras (metalófitas) tienen la capacidad para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar metales pesados gracias a su alta capacidad de acumulación en las raíces y translocación diferentes órganos vegetativos alcanzando niveles de remoción de hasta del 100% (Buta *et al*., 2014). Dentro de las adaptaciones fisiológicas y bioquímicas se incluye el desarrollo de estructuras complejas llamadas metal-proteínas o metalotioneinas, que permiten el control en la acumulación de Cd, Cr y Hg, que además le brindan protección a la célula ante efectos tóxicos (Paz-Ferreiro *et al*., 2014).

Por otra parte, gracias a los avances en ingeniería genética muchos genes que generan resistencia a metales pesados han sido introducidos dentro de las células vegetales, como es el caso de las especies vegetales transgénicas que expresan las proteínas organomercurial liasa (MerB) y MerA (mercurio reductasa), presentan una mayor tolerancia a complejos de Hg orgánico y reduciendo Hg (II) a Hg (0). La microremediación y la fitorremediación son consideradas tecnologías promisorias en el tratamiento de la contaminación de metales pesados, su utilización en campo y laboratorio evidencian el poten-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

cial biotecnológico en la recuperación de ambientes afectados (Swain, Adhikari y Mohanty, 2013).

6 Conclusión

En la naturaleza existen numerosos organismos con la capacidad de fijar o absorber los metales pesados, la mayoría con origen antrópico, que se encuentran presentes en la solución del suelo y que luego terminan contaminando los alimentos que consumimos. Para el cultivo de cacao es necesario desarrollar programas integrales de remediación, que incluya técnicas de fitoremediación (*B. campestris, M. sativa o E.camaldulensis*) y de bioremediación (micorrizas arbusculares del genero *Glomus*, y bacterias como *M. oleivorans y B. phytofirmans*) y aunque los mejores resultados se logran en tiempos relativamente largos, es necesario iniciar desde ahora para tener la seguridad de ofrecer un chocolate con buen sabor y aroma y que cumpla con la normatividad vigente sobre contenidos de plomo y cadmio.

Referencias

Abarshi, Muawiya Musa, Edward Oyedeji Dantala y Sanusi Bello Mada. 2017. "Bioaccumulation of heavy metals in some tissues of croaker fish from oil spilled rivers of Niger Delta region, Nigeria." *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine* 7(6):563–568. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.05.008.

AbuShady, Mones M., Hanan A. Fathy, Gihan A. Fathy, Samer abd el Fatah, Alaa Ali y Mohamed A. Abbas. 2017. "Blood lead levels in a group of children: the potential risk factors and health problems." *Journal de Pediatria* 93(6):619–624. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jped.2016.12.006.

Aggangan, Nelly, Nina Cadiz, Arlene Llamado y Asuncion Raymundo. 2017. "Jatropha Curcas for Bioenergy and Bioremediation in Mine Tailing Area in Mogpog, Marinduque, Philippines." *Energy Procedia* 110:471–478. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.171. 1st International Conference on Energy and Power, ICEP2016, 14-16 December 2016, RMIT University, Melbourne, Australia.

Ahemad, Munees. 2015. "Enhancing phytoremediation of chromium-stressed soils through plant-growth-promoting bacteria." *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology* 13(1):51–58. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2015.02.001.

Ahkami, Amir H., Richard Allen White, Pubudu P. Handakumbura y Christer Jansson. 2017. "Rhizosphere engineering: Enhancing sustainable plant ecosystem productivity." *Rhizosphere* 3:233–243. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2017.04.012. New Understanding of Rhizosphere Processes Enabled by Advances in Molecular and Spatially Resolved Techniques.

Al-Gburi, Hind Fadhil Abdullah, Balsam Salim Al-Tawash y Hadi Salim Al-Lafta. 2017. "Environmental assessment of Al-Hammar Marsh, Southern Iraq." *Heliyon* 3(2):e00256. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2017.e00256.

Al-Hossainy, Ahmed F., Adila E. Mohamed, Fatma S.M. Hassan y M.M. Abd Allah. 2017. "Determination of cadmium and lead in perch fish samples by differential pulse anodic stripping voltammetry and furnace atomic absorption spectrometry." *Arabian Journal of Chemistry* 10:S347–S354. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.09.005.

Al-Wabel, Mohammad I., Adel R.A. Usman, Ahmed H. El-Naggar, Anwar A. Aly, Hesham M. Ibrahim, Salem Elmaghraby y Abdulrasoul Al-Omran. 2015. "Conocarpus biochar as a soil amendment for reducing heavy metal availability and uptake by maize plants." *Saudi Journal of Biological Sciences* 22(4):503–511. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2014.12.003.

Amadi, Cecilia Nwadiuto, Zelinjo Nkeiruka Igweze y Orish Ebere Orisakwe. 2017. "Heavy metals in miscarriages and stillbirths in developing nations." *Middle East Fertility Society Journal* 22(2):91–100. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.mefs.2017.03.003.

Anga, Jean-Marc. 2015. "Mercado Mundial del Cacao: Retos y oportunidades para productores de cacao en Nicaragua Managua." Organización Internacional del Cacao. . [en línea] disponible en: https://goo.gl/u1xSmD.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Antoine, Johann M.R., Leslie A. Hoo Fung y Charles N. Grant. 2017. "Assessment of the potential health risks associated with the aluminium, arsenic, cadmium and lead content in selected fruits and vegetables grown in Jamaica." *Toxicology Reports* 4:181–187. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.03.006.

Avramov, Anton P., M.B. Couger, Emily L. Hartley, Craig Land, Rachel Wellendorf, Radwa A. Hanafy, Connie Budd, Donald P. French, Wouter D. Hoff y Noha Youssef. 2016. "Draft genome sequence of Microbacterium oleivorans strain Wellendorf implicates heterotrophic versatility and bioremediation potential." *Genomics Data* 10:54–60. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.gdata.2016.09.005.

Baghour, Mourad, Diego A. Moreno, Gemma Víllora, Joaquín Hernández, Nicólas Castilla y Luis. Romero. 2001. "Phytoextraction of Cd and Pb and Physiological Effects in Potato Plants (Solanum Tuberosum Var. Spunta). Importance of Root Temperature." *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 49(11):5356–5363. [en línea] doi: https://doi.org/10.1021/jf010428x. PMID: 11714328.

Belouchrani, Amel Souhila, Nabil Mameri, Nadia Abdi, Hocine Grib, Hakim Lounici y Nadjib Drouiche. 2016. "Phytoremediation of soil contaminated with Zn using Canola(Brassica napus L)." *Ecological Engineering* 95:43–49. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.064.

Beltrán-Pineda, A. E y A. M. Gómez-Rodríguez. 2016. "Biorremediación de Metales Pesados Cadmio (Cd), Cromo (Cr) y Mercurio (Hg), Mecanismos Bioquímicos e Ingeniería Genética: Una Revisión." *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 12(2):172–197. [en línea] doi: https://doi.org/10.18359/rfcb.2027.

Benyahia, Farid y Ahmed Shams Embaby. 2016. "Bioremediation of crude oil contaminated desert soil: Effect of biostimulation, bioaugmentation and bioavailability in biopile treatment systems." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 13(2):1–11. [en línea] doi: https://doi.org/10.3390/ijerph13020219.

Blaser, W.J., J. Oppong, E. Yeboah y J. Six. 2017. "Shade trees have limited benefits for soil fertility in cocoa agroforests." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 243:83–91. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.007.

Brown, David M., Samson Okoro, Juami van Gils, Rob van Spanning, Matthijs Bonte, Tony Hutchings, Olof Linden, Uzoamaka Egbuche, Kim Bye Bruun y Jonathan W.N. Smith. 2017. "Comparison of landfarming amendments to improve bioremediation of petroleum hydrocarbons in Niger Delta soils." *Science of The Total Environment* 596–597:284–292. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.072.

Buta, Erzsb́et, Anamária Török, Bilassé Zongo, Maria Cantor, Mihai Buta, Cornelia Majdik y Árpád Csog. 2014. "Comparative Studies of the Phytoextraction Capacity of Five Aquatic Plants in Heavy Metal Contaminated Water." *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 42(1):173–179. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.15835/nbha4219341.

Cacao de Colombia. 2014. "Resumen Ejecutivo Diseño de un sistema de calificación y clasificación de estándares de calidad para el cacao fino y de aroma de Colombia, p. 30." Alma café, Swiss contact. [en línea] disponible en: https://goo.gl/Z6b3b6.

Callejas, Edmar Salinas. 2016. "La onda larga de los precios de alimentos 1990-2016." *Economía Informa* 401:85 –02. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ecin.2016.11.005.

CAOBISCO/ECA/FCC. 2015. *Cacao en Grano: Requisitos de calidad de la industria del chocolate y del cacao.* Editores End, M.J. y Dand, R. [en línea] disponible en: https://goo.gl/3PHLw8.

Chavez, E., Z.L. He, P.J. Stoffella, R.S. Mylavarapu, Y.C. Li, B. Moyano y V.C. Baligar. 2015. "Concentration of cadmium in cacao beans and its relationship with soil cadmium in southern Ecuador." *Science of The Total Environment* 533:205–214. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.106.

Chen, Xiao, Xiaoyan Liu, Xinying Zhang, Liya Cao y Xiaoxin Hu. 2017. "Phytoremediation effect of Scirpus triqueter inoculated plant-growth-promoting bacteria (PGPB) on different fractions of pyrene and Ni in co-contaminated soils." *Journal of Hazardous Materials* 325:319–326. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.12.009.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

CODEX Alimentarius. 2015. "Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. CODEX STAN 193-1995." [en línea] disponible en: https://goo.gl/XqGcyo.

Covarrubias, Sergio y J. Cabriales. 2017. "Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33(0):7–21. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.20937/RICA.2017.33.esp01.01.

Coyago, E y S. Bonilla. 2016. "Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano." *La Granja, Revista de ciencia y tecnología* 23(1):35–46. [en línea] doi: https://doi.org/10.15446/acag.v66n2.58476.

da Conceição Gomes, Maria Angélica, Rachel Ann Hauser-Davis, Adriane Nunes de Souza y Angela Pierre Vitória. 2016. "Metal phytoremediation: General strategies, genetically modified plants and applications in metal nanoparticle contamination." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 134:133–147. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.08.024.

Dhawi, Faten, Rupali Datta y Wusirika Ramakrishna. 2016. "Mycorrhiza and heavy metal resistant bacteria enhance growth, nutrient uptake and alter metabolic profile of sorghum grown in marginal soil." *Chemosphere* 157:33–41. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.112.

Di Martino, C. 2015. Estudio de bacterias del género Pseudomonas en la degradación de hidrocarburos y síntesis de biosurfactantes: análisis del efecto de los polihidroxialcanoatos PhD thesis Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. [en línea] disponible en: https://goo.gl/vDpgmg.

Díaz García, J. D y E. Arceo. 2017. "Daño renal asociado a metales pesados." *Revista Colombiana de Nefrología* 5(1):[en línea] doi: http://dx.doi.org/10.22265/acnef.5.2.254.

Dzionek, Anna, Danuta Wojcieszynska y Urszula Guzik. 2016. "Natural carriers in bioremediation: A review." *Electronic Journal of Biotechnology* 23:28–36. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2016.07.003.

El-Amier, Yasser A., Abdelhamid A. Elnaggar y Muhammad A. El-Alfy. 2017. "Evaluation and mapping spatial distribution of bottom sediment heavy metal contamination in Burullus Lake, Egypt." *Egyptian Journal of Basic and Applied Sciences* 4(1):55–66. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ejbas.2016.09.005.

Elouear, Zouheir, Farah Bouhamed, Nesrine Boujelben y Jalel Bouzid. 2016. "Application of sheep manure and potassium fertilizer to contaminated soil and its effect on zinc, cadmium and lead accumulation by alfalfa plants." *Sustainable Environment Research* 26(3):131–135. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.serj.2016.04.004.

FAO/WHO. 2014. "Anteproyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao." Comisión del Codex Alimentarius. [en línea] disponible en: https://goo.gl/5MeHzF.

Flores-Cáceres, M. L. 2013. Caracterización de los mecanismos de respuesta antioxidante de Medicago sativa a metales pesados PhD thesis Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias. [en línea] disponible en: https://goo.gl/C54pkd.

Fu, D, L Jiang, A Mason, M Xiao, L Zhu, L Li, Q Zhou, C Shen y C. Huang. 2016. "Research progress and strategies for multifunctional rapeseed: A case study of China." *Journal of Integrative Agriculture* 15(8):1673–1684. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/S2095--3119(16)61384--9.

Galdames, A., A. Mendoza, M. Orueta, I.S. de Soto García, M. Sánchez, I. Virto y J.L. Vilas. 2017. "Development of new remediation technologies for contaminated soils based on the application of zero-valent iron nanoparticles and bioremediation with compost." *Resource-Efficient Technologies* 3(2):166–176. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.reffit.2017.03.008.

George, K. Shinomol, K. Bhanu Revathi, N. Deepa, C. Pooja Sheregar, T.S. Ashwini y Suchandrima Das. 2016. "A Study on the Potential of Moringa Leaf and Bark Extract in Bioremediation of Heavy Metals from Water Collected from Various Lakes in Bangalore." *Procedia Environmental Sciences* 35:869–880. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.07.104. Waste Management for Resource Utilisation.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Guarino, Carmine y Rosaria Sciarrillo. 2017. "Effectiveness of in situ application of an Integrated Phytoremediation System (IPS) by adding a selected blend of rhizosphere microbes to heavily multi-contaminated soils." *Ecological Engineering* 99:70–82. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.051.

Guerra Sierra, B. E, A. X Sandoval Meza, L. S Manrique González y S. P. Barrera Rangel. 2014. "Ensayos preliminares in vitro de biosorción de cadmio cepas fúngicas nativas de suelos contaminados." *Innovaciencia Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 2(1):53–58. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.15649/2346075X.256.

Hashem, Abeer, Elsayed Fathi Abd Allah, Abdulaziz A. Alqarawi, Jahangir Ahmad Malik, Stephan Wirth y Dilfuza Egamberdieva. 2016. "Role of calcium in AMF-mediated alleviation of the adverse impacts of cadmium stress in Bassia indica [Wight] A.J. Scott." *Saudi Journal of Biological Sciences* p. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.11.003.

Howladar, Saad M. 2014. "A novel Moringa oleifera leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (Phaseolus vulgaris L.) plants." *Ecotoxicology and Environmental Safety* 100:69–75. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2013.11.022.

Ibiang, Young Bassey, Hiroko Mitsumoto y Kazunori Sakamoto. 2017. "Bradyrhizobia and arbuscular mycorrhizal fungi modulate manganese, iron, phosphorus, and polyphenols in soybean (Glycine max (L.) Merr.) under excess zinc." *Environmental and Experimental Botany* 137:1–13. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.01.011.

Jaramillo, R. 2013. Metales pesados en plantaciones: Antecedentes y manejo. In *Cumbre Mundial de Cacao, Guayaquil, Ecuador 26-28 de Agosto de 2013. . [en línea] disponible en: https://goo.gl/fqvzXr*.

Khan, Abdur Rahim, Muhammad Waqas, Ihsan Ullah, Abdul Latif Khan, Muhammad Aaqil Khan, In-Jung Lee y Jae-Ho Shin. 2017. "Culturable endophytic fungal diversity in the cadmium hyperaccumulator Solanum nigrum L. and their role in enhancing phytoremediation." *Environmental and Experimental Botany* 135:126–135. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.03.005.

Lanza, J. G, P. C Churión, N. J Lieno y V. H. López. 2016. "Evaluación del contenido de metales pesados en cacao (Teobroma cacao L.) de Santa Bárbara de Zulia, Venezuela." *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente* 28:106–115. [en línea] disponible en: https://goo.gl/pu5XaQ.

Lares Amaiz, M, E Pérez Sira, C Álvarez Fernández, J Perozo González y S. El Khori. 2013. "Cambios de las propiedades físico-químicas y perfil de ácidos grasos en cacao de Chuao, durante el beneficio." *Agronomía Tropical* 63(1–2):37–47. [en línea] disponible en: https://goo.gl/zEao4S.

Leal, Aline Jaime, Edmo Montes Rodrigues, Patricia Lopes Leal, Aline Daniela Lopes Júlio, Rita de Cássia Rocha Fernandes, Arnaldo Chaer Borges y Marcos Rogério Tótola. 2017. "Changes in the microbial community during bioremediation of gasoline-contaminated soil." *Brazilian Journal of Microbiology* 48(2):342–351. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.10.018.

Liu, Mohan, Jian Sun, Yang Li y Yan Xiao. 2017. "Nitrogen fertilizer enhances growth and nutrient uptake of Medicago sativa inoculated with Glomus tortuosum grown in Cd-contaminated acidic soil." *Chemosphere* 167:204–211. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.09.145.

Londño Franco, L. F, P. T Londoño Muñoz y F. G. Muñoz García. 2016. "Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal." *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14:145–153. [en línea] disponible en: https://goo.gl/xRvptr.

Lopes, Patricia, Maryeimy Varón-López, Isabelle Gonçalves de Oliveira Prado, Jesse Valentim dos Santos, Claudio Roberto Fonseca Sousa Soares, Jose Oswaldo Siqueira y Fatima Maria de Souza Moreira. 2016. "Enrichment of arbuscular mycorrhizal fungi in a contaminated soil after rehabilitation." *Brazilian Journal of Microbiology* 47(4):853–862. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.06.001.

Luo, Jie, Shihua Qi, X.W. Sophie Gu, Jinji Wang y Xianming Xie. 2016. "Evaluation of the phyto-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

remediation effect and environmental risk in remediation processes under different cultivation systems." *Journal of Cleaner Production* 119:25–31. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.043.

Marzan, Lolo Wal, Mehjabeen Hossain, Sohana Akter Mina, Yasmin Akter y A.M. Masudul Azad Chowdhury. 2017. "Isolation and biochemical characterization of heavy-metal resistant bacteria from tannery effluent in Chittagong city, Bangladesh: Bioremediation viewpoint." *The Egyptian Journal of Aquatic Research* 43(1):65–74. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ejar.2016.11.002.

Nirola, Ramkrishna, Mallavarapu Megharaj, Thavamani Palanisami, Rupak Aryal, Kadiyala Venkateswarlu y Ravi Naidu. 2015. "Evaluation of metal uptake factors of native trees colonizing an abandoned copper mine a quest for phytostabilization." *Journal of Sustainable Mining* 14(3):115–123. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jsm.2015.11.001.

Nkansah, Marian Asantewah, Mavis Korankye, Godfred Darko y Matt Dodd. 2016. "Heavy metal content and potential health risk of geophagic white clay from the Kumasi Metropolis in Ghana." *Toxicology Reports* 3:644–651. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2016.08.005.

Nurhayati, Arry Y., Yuda C. Hariadi y P. Lestari. 2015. "Early Detection of Lead Stress on Marsilea Crenata Using Biolectricity Measurement." *Procedia Environmental Sciences* 28:57–66. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.07.009. The 5th Sustainable Future for Human Security (SustaiN 2014).

Ojoawo, Samson O., Gaddale Udayakumar y Pushparaj Naik. 2015. "Phytoremediation of Phosphorus and Nitrogen with Canna x generalis Reeds in Domestic Wastewater through NMAMIT Constructed Wetland." *Aquatic Procedia* 4:349–356. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.047. INTERNATIONAL CONFERENCE ON WATER RESOURCES, COASTAL AND OCEAN ENGINEERING (ICWRCOE'15).

Oyetibo, Ganiyu Oladunjoye, Mei-Fang Chien, Wakako Ikeda-Ohtsubo, Hitoshi Suzuki, Oluwafemi Sunday Obayori, Sunday Adekunle Adebusoye, Matthew Olusoji Ilori, Olukayode Oladipo Amund y Ginro Endo. 2017. "Biodegradation of crude oil and phenanthrene by heavy metal resistant Bacillus subtilis isolated from a multi-polluted industrial wastewater creek." *International Biodeterioration & Biodegradation* 120:143–151. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.047.

Paul, Dipak. 2017. "Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review." *Annals of Agrarian Science* 15(2):278–286. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aasci.2017.04.001.

Paz-Ferreiro, J., H. Lu, S. Fu, A. Méndez y G. Gascó. 2014. "Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review." *Solid Earth* 5(1):65–75. [en línea] doi: https://doi.org/10.5194/se--5--65--2014.

Perryman, Shane E., Imran Lapong, Akhmad Mustafa, Rosiana Sabang y Michael A. Rimmer. 2017. "Potential of metal contamination to affect the food safety of seaweed (Caulerpa spp.) cultured in coastal ponds in Sulawesi, Indonesia." *Aquaculture Reports* 5:27–33. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2016.12.002.

ProExport Colombia. 2014. "Oportunidades de mercado para exportar cacao colombiano." [en línea] disponible en: https://goo.gl/M52BH6.

Ramírez Sosa, C y S. Orrego Suaza. 2014. "Modelación económica con información espacialmente explicíta de la deforestación en Urabá, Colombia, 1980-2000." *Semestre Económico* 14(29):31–51. [en línea] doi: https://doi.org/10.22395/seec.v14n29a2.

Ramtahal, G, I Chang Yen, I Bekele, F Bekele, L Wilson, K Maharaj y L. Harrynanan. 2016. "Relationships between Cadmium in Tissues of Cacao Trees and Soils in Plantations of Trinidad and Tobago." *Food and Nutrition Sciences* 7(1):37–43. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.4236/fns.2016.71005.

Reyes, Yulieth, Ines Vergara, Omar Torres, Mercedes Díaz-Lagos y Edgar González-Jimenez. 2016. "Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria." *Ingeniería Investigación y Desarrollo* 16(2):66–77. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.1007/BF01616705.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Saad-Allah, Khalil M. y M.A. Elhaak. 2017. "Hyperaccumulation activity and metabolic responses of Solanum nigrum in two differentially polluted growth habitats." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(3):227–235. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.08.001.

Shakir, Eman, Zahraa Zahraw y Abdul Hameed M.J. Al-Obaidy. 2017. "Environmental and health risks associated with reuse of wastewater for irrigation." *Egyptian Journal of Petroleum* 26(1):95–102. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.01.003.

Singh, Jiwan y Byeong-Kyu Lee. 2016. "Influence of nano-TiO2 particles on the bioaccumulation of Cd in soybean plants (Glycine max): A possible mechanism for the removal of Cd from the contaminated soil." *Journal of Environmental Management* 170:88–96. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.01.015.

Siriangkhawut, Watsaka, Patcharee Sittichan, Kraingkrai Ponhong y Piyanete Chantiratikul. 2017. "Quality assessment of trace Cd and Pb contaminants in Thai herbal medicines using ultrasound-assisted digestion prior to flame atomic absorption spectrometry." *Journal of Food and Drug Analysis* 25(4):960–967. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jfda.2016.12.011.

Skiba, E, J Kobylecka y W. Wolf. 2017. "Influence of 2,4-D and MCPA herbicides on uptake and translocation of heavy metals in wheat (Triticum aestivum L.)." *Environmental Pollution* 220:882–890. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.10.072.

Soni, S. K, R Singh, A Awasthi y A. Kalra. 2013. "Cr(VI)-reducing Microbacterium sp. strain SUCR140 enhances growth and yield of Zea mays in Cr(VI) amended soil through reduced chromium toxicity and improves colonization of arbuscular mycorrhizal fungi." *Environmental Science and Pollution Research* 21(3):1971–1979. [en línea] doi: https://doi.org/10.1007/s11356--013--2098--7.

Swain, G, S Adhikari y P. Mohanty. 2013. "Phytoremediation of Copper and Cadmium from Water Using Water Hyacinth, Eichhornia crassipes." *International Journal of Agricultural Science and Technology* 2(1):[en línea] doi: https://doi.org/10.14355/ijast.2014.0301.01.

Syam, Netty, Tatik Wardiyati, Muhammad Dawam Maghfoer, Eko Handayanto, Bahtiar Ibrahim y Aminah Muchdar. 2016. "Effect of Accumulator Plants on Growth and Nickel Accumulation of Soybean on Metal-contaminated Soil." *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9:13–19. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.109. International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources, IC-FANRes 2015.

Tahir, Uruj, Azra Yasmin y Umair Hassan Khan. 2016. "Phytoremediation: Potential flora for synthetic dyestuff metabolism." *Journal of King Saud University - Science* 28(2):119–130. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jksus.2015.05.009.

Tariq, Saadia R. y Azka Ashraf. 2016. "Comparative evaluation of phytoremediation of metal contaminated soil of firing range by four different plant species." *Arabian Journal of Chemistry* 9(6):806–814. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.024.

TECHNOSERVE. 2015. *Construcción de un modelo de agricultura competitiva en Colombia*. [en línea] disponible eni: https://goo.gl/sRXTEm.

Touceda-González, María, Günter Brader, Livio Antonielli, Vivek Balakrishnan Ravindran, Georg Waldner, Wolfgang Friesl-Hanl, Erika Corretto, Andrea Campisano, Michael Pancher y Angela Sessitsch. 2015. "Combined amendment of immobilizers and the plant growth-promoting strain Burkholderia phytofirmans PsJN favours plant growth and reduces heavy metal uptake." *Soil Biology and Biochemistry* 91:140–150. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.04.007.

TRANSMAR GROUP. 2014. *Situación y perspectivas del mercado mundial de cacao.* World Bank Webinar. . [en línea] disponible en: https://goo.gl/EvhecY.

Uyttendaele, Mieke, Elien De Boeck y Liesbeth Jacxsens. 2016. "Challenges in Food Safety as Part of Food Security: Lessons Learnt on Food Safety in a Globalized World." *Procedia Food Science* 6:16–22. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.profoo.2016.02.003. International Conference of Sabaragamuwa University of Sri Lanka 2015 (ICSUSL 2015).

Vanhove, Wouter, Niels Vanhoudt y Patrick Van Damme. 2016. "Effect of shade tree planting and soil management on rehabilitation success of

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

a 22-year-old degraded cocoa (Theobroma cacao L.) plantation." *Agriculture, Ecosystems & Environment* 219:14–25. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.12.005.

Vargas-Moreno, Paola, Leonardo Silva-Gómez, Sandra Chaparro Acu na y Oswaldo Cárdenas. 2017. "Cadmium voltametric quantification in table chocolate produced in Chiquinquira-Boyaca, Colombia." *Acta Agronómica* 66(2):172–177. [en línea] doi: https://doi.org/10.15446/acag.v66n2.58476.

Verma, Rashmi y Surindra Suthar. 2015. "Lead and cadmium removal from water using duckweed Lemna gibba L.: Impact of pH and initial metal load." *Alexandria Engineering Journal* 54(4):1297–1304. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aej.2015.09.014.

Vizcaíno Cabezas, D. A y R. Betancourt. N.d. *Manual de Aplicabilidad de Buenas Prácticas Agrícolas para Cacao*. Agrocalidad, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/XsmQy5.

Winarso, Sugeng, Martinus H. Pandutama y Lutfi Dwi Purwanto. 2016. "Effectivity of Humic Substance Extracted from Palm Oil Compost as Liquid Fertilizer and Heavy Metal Bioremediation." *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 9:146–157. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.110. International Conference on Food, Agriculture and Natural Resources, IC-FANRes 2015.

Xia, Ye, Seth DeBolt, Jamin Dreyer, Delia Scott y Mark A. Williams. 2015. "Characterization of culturable bacterial endophytes and their capacity to promote plant growth from plants grown using organic or conventional practices." *Frontiers in Plant Science* 6:490. [en línea] doi: https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00490.

Yang, Zhihui, Zhi Zhang, Liyuan Chai, Yong Wang, Yi Liu y Ruiyang Xiao. 2016. "Bioleaching remediation of heavy metal-contaminated soils using Burkholderia sp. Z-90." *Journal of Hazardous Materials* 301:145–152. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2015.08.047.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03

Artículo científico / Scientific paper

Ecología acuática

CC BY NC SA

Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador

Fundamental principles on water quality, the use of aquatic bioindicators and fluvial ecological restoration in Ecuador

Esteban Terneus-Jácome[1] y Patricio Yánez[1,2]

[1] *Escuelas de Biología Aplicada y de Gestión Turística, Universidad Internacional del Ecuador. Av. Jorge Fernández s/n y Av. Simón Bolívar, Quito-Ecuador.*
[2] *Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Universidad Iberoamericana del Ecuador, Av. 9 de Octubre N25-12 y Colón, Quito-Ecuador.*

*Autor para correspondencia: hterneus@internacional.edu.ec

Artículo recibido el 31 de julio de 2017. Aceptado, tras revisión, el 14 de enero de 2018. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

El presente trabajo se desarrolló como complemento al componente de restauración ecológica contemplado dentro del marco de acción del Plan de Gestión Ambiental del FONAG (Fondo para la conservación del Agua), institución adscrita al Municipio de Quito. El documento forma parte de una línea base de información que gira en torno a la construcción de un escenario adecuado para emprender actividades de restauración ecológica fluvial, en los ambientes en los que ésta fuera necesaria. A nivel municipal es importante que las consideraciones que aquí se discuten así como las iniciativas de restauración ecológica fluvial se inserten como un componente más dentro de los planes de gestión ambiental que cada gobierno local (GAD) emprende en el territorio de su jurisdicción, y se lo aborde como un elemento que requiere un permanente seguimiento y monitoreo para detectar oportunamente cambios en la calidad y cantidad del agua que se puedan presentar en una determinada zona y que a la vez esto permita tomar las acciones de manejo que correspondan.
Palabras claves: calidad del agua, Ecuador, bioindicadores, restauración ecológica fluvial.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

This work was developed as a complement to the ecological restoration component contemplated within the framework of action of the Environmental Management Plan of FONAG (Fund for Water Conservation), an institution attached to the Municipality of Quito. The document is part of the baseline in the creation of a suitable scenario to undertake activities of rivers ecological restoration, where it is necessary. At the municipal level, it is important that the considerations discussed here, as well as initiatives for river restoration, should be inserted as one of the main components within the environmental management plans that each local government (GAD) has to undertake in the territory of its jurisdiction, and it is addressed as an element that requires a permanent monitoring in order to detect the changes in the quality and quantity of water that can be presented in a given area and the corresponding management actions to be taken.
Keywords: Water quality, Ecuador, bio-indicators, rivers ecological restoration.

Forma sugerida de citar: Terneus-Jácome, E. y Yánez, P. 2018. Principios fundamentales en torno a la calidad del agua, el uso de bioindicadores acuáticos y la restauración ecológica fluvial en Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):36-50. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.03.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

1.1 Diagnóstico de la problemática del agua en Ecuador

Durante muchos años en Ecuador, el manejo del agua se ha centrado en iniciativas para mejorar el aprovisionamiento de la misma en cantidad, no necesariamente en calidad. A esto suele sumarse la limitada disponibilidad de recursos económicos para conservación de fuentes primarias de agua y de un criterio de manejo a nivel de cuenca hidrográfica como unidad de análisis. Por consiguiente, los esfuerzos por prevenir la contaminación y recuperar los cuerpos de agua contaminados han sido mínimos, o su alcance ha respondido a intereses particulares (Solanes y Peña, 2003). En la actualidad, Quito no cuenta con una planta de tratamiento de aguas de alcantarillado, salvo pocas excepciones focalizadas a nivel industrial. Se prevé que para 2018, la ciudad contará con su primera planta de tratamiento de agua (Calles, 2012), hasta tanto las principales cuencas y microcuencas receptoras de las aguas contaminadas provenientes de la ciudad, vierten sus aguas a los ríos Machángara, Guayllabamba y Monjas sin ningún tipo de tratamiento. Esta última, por ejemplo, recibe las aguas de las diferentes actividades antropogénicas provenientes del páramo del Atacazo y otras zonas cercanas.

A nivel nacional únicamente la ciudad de Cuenca y algunos sectores de Guayaquil y Loja, cuentan con sistemas de tratamiento de aguas de alcantarillado, lo que les ha permitido disminuir las tasas de parasitosis, enfermedades intestinales de las personas y la pérdida de biodiversidad acuática a causa de la contaminación de cuerpos de agua cercanos a centros poblados y/o urbanos (Lloret, 2002).

Las limitaciones de disponibilidad de agua, en términos de calidad, y el importante crecimiento demográfico nacional están ejerciendo una fuerte presión sobre las zonas altas de páramos de donde se originan las fuentes de agua primarias, generando, como consecuencia, la sobre explotación del recurso y el deterioro de su cobertura vegetal natural en las áreas de recarga. Por consiguiente, urge tomar medidas de gestión ambiental que permitan recuperar estas fuentes de agua primarias que ya han sido intervenidas, pero que se las puede restaurar con un adecuado manejo y recuperación de las zonas de riberas, junto a los cuerpos de agua, y un plan de delimitación de zonas de protección hidrológica (González y García, 2007; Magdaleno, 2011; Rodríguez Quiñónez, 2012; Ramírez López, 2015).

1.2 El marco legal de referencia

La Carta Magna de la República del Ecuador de 2008, en su capítulo siete (Art. 71), establece los derechos de la naturaleza como primordiales para garantizar el Buen Vivir de las personas en un entorno natural, sano y libre de contaminación. De igual manera el artículo 72 del mismo capítulo, hace referencia a los derechos que tiene la naturaleza a ser restaurada en casos de intervención por parte del ser humano, como resultado de sus actividades socioeconómicas. También señala que, en caso de ocurrir impactos ambientales, los causantes de los mismos están obligados a tomar medidas mitigatorias y restauradoras para devolver el estado natural original al ambiente disturbado (Asamblea Constituyente, 2008).

Para el cumplimiento de lo indicado, el Estado ecuatoriano, a través de la máxima autoridad ambiental del país, el Ministerio de Ambiente (MAE), ha generado una serie de leyes, normas y sistemas de control, que permiten regular y monitorear las actividades generadas por el ser humano y que atentan o pudieran estar atentando a la integridad de la naturaleza y su funcionalidad ecosistémica.

En su capítulo segundo, la misma Carta Magna hace referencia a la biodiversidad y a los recursos naturales. En el artículo 395 se establece que las políticas de gestión ambiental del Estado, deberán ser aplicadas por toda entidad de origen público o privado y serán obligatorias en su cumplimiento. El artículo 400, a su vez, hace referencia a la importancia de conservar la biodiversidad y los recursos naturales de toda persona natural o jurídica, declarándola como una acción de interés público.

La Ley de Gestión Ambiental de Ecuador pone de manifiesto que la máxima autoridad ambiental (Ministerio del Ambiente, 2003) tiene la potestad sancionadora, en caso de comprobarse daños ambientales provocados por actividades procedentes del sector público o privado en cualquier ámbito de acción, así como las atribuciones de otorgar el licenciamiento y permisos de funcionamiento a estas instituciones.

En la sección dos, en el artículo 47 se hace mención a la importancia de las áreas de manejo especial, en las que el FONAG ha considerado a las fuentes de agua primarias (quebradas de páramo) como

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

parte de estos ecosistemas por su riqueza única de especies de flora y fauna nativas. En el capítulo III, artículo 57, también se hace referencia a la obligatoriedad de la recuperación y mitigación de áreas degradadas por impactos ambientales negativos.

La Ley de Gestión Ambiental en sus artículos 1-6 pone de manifiesto la importancia, los principios y directrices de la política ambiental que las instituciones públicas y privadas deben fomentar en cada una de sus actividades. Además, esta ley señala los límites permisibles, los controles y sanciones en materia ambiental. En concordancia con este marco jurídico se encuentra la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, en la que se hace referencia a ambos procesos en cuanto al aire (capítulo V); las aguas (capítulo VI) y los suelos (capítulo VII), constituyéndose en el marco regulatorio sobre el cual el FONAG enmarca sus procedimientos de gestión ambiental.

Por otra parte, el Ministerio del Ambiente (2003) (Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente) es una norma técnica que se ampara en la Ley de Gestión Ambiental y en el Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

Esta norma técnica aborda o establece:

a. Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado (Libro VI anexo I).

b. Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos (Libro VI anexo I); y,

c. Los métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (Libro VI anexo I).

Todas estas normas y regulaciones deben ser tomadas en cuenta para el funcionamiento y los procesos de gestión ambiental que el FONAG contempla dentro de su planificación estratégica.

El artículo 318 de la misma Constitución consagra al agua como patrimonio nacional estratégico de uso público; y el Estado, a través de la autoridad única del agua SENAGUA (Secretaria Nacional del Agua), creada mediante Decreto Ejecutivo 1088 del 15 de mayo de 2008, genera la propuesta de la nueva Ley de Aguas (Asamblea Nacional, 2010), y a su vez es el responsable de la planificación y gestión de los recursos hídricos que serán administrados bajo este orden de prelación: a. Consumo humano. b. Riego que garantice la soberanía alimentaria. c. Caudal ecológico, y d. Actividades productivas.

Bajo este contexto y estructura legal, el manejo de los recursos hídricos en el Ecuador ha intentado regular y administrar el uso adecuado del recurso. Sin embargo, es perentorio fortalecer el elemento técnico para incrementar la eficacia, eficiencia y operatividad a estas iniciativas (Asamblea Nacional, 2010).

2 Grupos biológicos indicadores de la calidad del agua

2.1 Los macroinvertebrados como bioindicadores de calidad ambiental

La alta presión antrópica a la que han estado expuestos los ecosistemas de agua dulce en Ecuador durante los últimos veinte años, pone en evidencia el deterioro de los cuerpos de agua, tanto en cantidad como en calidad. Una de las formas más exitosas y económicas para llegar a determinar el nivel de impacto y el tipo de contaminante o elemento exógeno presente en un cuerpo de agua es utilizando diferentes organismos acuáticos como indicadores de estos cambios o perturbaciones (González y Lozano, 2004; Escobar, Terneus y Yánez, 2013; Terneus, 2015).

Un organismo bioindicador es una especie o grupo de especies que poseen requerimientos ambientales particulares con relación a un conjunto de variables físicas o químicas; esta especie o estas especies pueden presentar cambios en su presencia y distribución espacial, número, morfología o conducta cuando las condiciones del sistema ecológico se alteran (Rosenberg y Resh, 1993). En definitiva, dichos organismos ocupan un hábitat a cuyas exigencias ambientales se encuentran adaptados; cualquier cambio en las condiciones ambientales se reflejará en la estructura, composición y dinámica de las comunidades de macroinvertebrados acuáticos que allí habiten (Terneus, Racines y Hernández, 2012).

Entre estos organismos, los macroinvertebrados como bioindicadores, juegan un papel importante en el manejo adecuado del recurso hídrico.

Dentro de estos requerimientos particulares se ha llegado a determinar que cada grupo o gremio

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

de macroinvertebrados acuáticos muestra niveles de especialización o preferencia por ocupar microambientes específicos; entre estos: micro hábitats rocosos, fangosos, de hojarasca, arena, limo o arcillas. A esto se añade la preferencia por ciertos aspectos físicos (hidrodinámicos) como la dinámica del agua y los flujos de corriente: zonas de corriente fuerte, media o débil o la presencia de elementos químicos (Figura 1). Por tanto, la presencia, abundancia, ausencia de estos organismos suelen indicar las condiciones del cuerpo de agua o de un sector de él.

La presencia o no de determinados grupos característicos como los efemerópteros, plecópteros y tricópteros (en la cual se basa el índice EPT) son indicadores de buena calidad de agua, y muchos de ellos ocupan espacios de aguas rápidas, bien oxigenadas y poco profundas, mientras que los dípteros quironómidos y ceratopogónidos y ciertos anélidos ocupan aguas someras, fangosas y profundas por lo que son indicadores de aguas con alta carga orgánica. La relación de estos grupos en proporción y riqueza proporcionan información bastante precisa sobre el estado de salud del ambiente acuático (Jacobsen, Schultz y Encalada, 1997; Giacometti y Bersosa, 2006).

Figura 1. Fuente de agua primaria en un páramo ecuatoriano con alto contenido de hierro. A ella se encuentran adaptadas solo ciertas especies de macroinvertebrados

2.2 Descripción general y características de los principales grupos de macroinvertebrados acuáticos como bioindicadores

A continuación, se destacan algunas características generales de los principales grupos bioindicadores a partir del trabajo de Racines (2014), quien demuestra cómo los macroinvertebrados acuáticos pueden expresar el estado de salud ecológica, a partir del cálculo de índices de tolerancia y sensibilidad a la contaminación del agua en los páramos ecuatorianos.

Los oligoquetos acuáticos (clase *Oligochaeta*) conforman uno de los grupos más importantes de los invertebrados presentes en lagos, ríos y embalses. Tienen parámetros morfológicos similares a la de oligoquetos terrestres: su tamaño varía entre 1 y 30 mm. Se alimentan de algas filamentosas; su respiración es cutánea. Los oligoquetos constituyen un eslabón importante en la cadena trófica bentónica, principalmente en aguas eutrofizadas o contaminadas, en las que alcanzan densidades muy elevadas y sirven de alimento para peces bentónicos, turbelarios, sanguijuelas, nemátodos y larvas de insectos (Brinkhurst, 1980).

Los miembros de este grupo han sido definidos como bioindicadores especiales para diferentes parámetros físicos y químicos, como por ejemplo: ti-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

pos de sustrato, carbono orgánico, fósforo y varios metales pesados, generalmente residuos de hidrocarburos (Chapman, Farrell y Brinkhurst, 1982).

Por otra parte, el orden Coleóptera que presenta la mayor diversidad de especies del mundo, viven en aguas continentales lóticas y lénticas, aguas limpias, con concentraciones de oxígeno alto y temperaturas medias (Roldan Perez, 1988). Poseen alas anteriores o élitros, alas posteriores membranosas, aparato bucal mordedor (Hickman, Roberts y Larson, 2009). Las larvas de los coleópteros presentan formas muy diversas, el abdomen presenta agallas laterales o ventrales, tienen metamorfosis completa y el adulto es morfológicamente muy diferente (Figura 2).

Figura 2. Larva de un coleóptero de la familia Elmidae. Junto a sus patas se encuentran las agallas que le permiten respirar en medios acuáticos con alta concentración de oxígeno.

El orden Díptera es el más complejo, abundante y mejor distribuido en el Planeta. Está conformado por insectos holometábolos, es decir, sus ciclos de vida consisten en huevos, larvas acuáticas, pupas y adultos voladores, de los cuales la fase bioindicadora es la larva. Su hábitat lo conforman ríos de aguas estancadas y corrientes (Roldan Perez, 1996). Las características más importantes de las larvas de los dípteros son la ausencia de patas torácicas, el cuerpo blando y cubierto de cerdas, espinas apicales o corona de ganchos en prolongaciones que ayudan a la locomoción y adhesión al sustrato (Roldan Perez, 1988).

Los Dípteros son considerados los mejores indicadores de la presencia de un alto grado de materia orgánica en los cuerpos de agua, sus familias más frecuentes son *Psychodidae, Tipulidae, Blephariceridae, Culicidae, Ceratopogonidae, Chironomidae, Simuliidae, Tabanidae y Muscidae* (Roldan Perez, 1996). A la familia Chironomidae se la asocia con aguas de abundante presencia de materia orgánica (en sistemas lóticos y lénticos), y bajas concentraciones de oxígeno disuelto. Sin embargo, dentro de esta familia existen unos pocos géneros que se desarrollan mejor en aguas limpias con altas concentraciones de oxígeno (González y Lozano, 2004). Las larvas de la familia Tipulidae son comunes en los sedimentos o entre las hojas del fondo de corrientes o escurrideros, troncos podridos y otra materia vegetal en descomposición (Lanza, Hernández y Carbajal, 2000).

Los chinches verdaderos (orden hemípera) poseen un tamaño de 2 a 100 mm con alas o sin ellas, alas posteriores membranosas, aparato bucal perforador-chupador. En este orden se incluyen a los escorpiones de agua, zapateros, chinches de cama, de campo, triatomas, pentatomas (Hickman, Roberts y Larson, 2009). El suborden Heteróptera comprende importantes insectos acuáticos que habitan una amplia gama de ecosistemas acuáticos (de agua dulce, ambientes marinos e intersticiales y de

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

altura). La mayoría son depredadores y en algunos casos detritívoros y alguívoros como los de la familia Corixidae (Konopko y Melo, 2009). Los hemípteros acuáticos incrementan su abundancia en sistemas con profundidades menores a 1 m. El oxígeno disuelto en el agua permite que estos organismos permanezcan más tiempo sumergidos, ya que su burbuja de aire utilizada para la respiración dura más tiempo (Contreras, Navarrete y Lara, 2008); también poseen otras adaptaciones para respirar tomando oxígeno del aire como tubos anales y canales abdominales Roldan Perez (1988). La presencia de vegetación acuática sumergida disminuye la depredación de los individuos de la familia Corixidae (Contreras, Navarrete y Lara, 2008). Los individuos de la familia Naucoridae, son enteramente acuáticos y se encuentran generalmente en sistemas lóticos y lénticos, entre hidrófitas vasculares (Lanza, Hernández y Carbajal, 2000).

Los individuos de la clase Gasterópoda, mayoritariamente herbívoros (Hickman, Roberts y Larson, 2009), se alimentan de algas y varios residuos vegetales. Habitan ambientes con sales disueltas, especialmente carbonato de calcio, siendo indicadores de aguas alcalinas. La mayor parte de especies necesitan altas concentraciones de oxígeno (Roldan Perez, 1988).

Los individuos del orden Tricladida (planarias y especies de cuerpo plano) pueden alcanzar 30 mm de longitud. Son fundamentalmente carnívoras, la mayoría viven bajo piedras, hojas, ramas y en aguas poco profundas; sus individuos requieren aguas oxigenadas. Sin embargo, algunas tienen la capacidad de soportar niveles de contaminación (Roldan Perez, 1988).

Los individuos de la clase Nematomorpha reciben el nombre de "gusanos crin de caballo", los gusanos adultos miden entre 10 y 70 cm de longitud, poseen una cutícula fibrosa; viven en corrientes limpias, adheridos a la vegetación, bajo piedras, a orilla de ríos y arroyos (Roldan Perez, 1988). Son organismos que necesitan completar su ciclo de vida dentro de un huésped apropiado.

Dentro de la Clase Hirudinea, los individuos del orden *Glossiphoniforme*, llamados sanguijuelas, tienen tamaños de entre 5 mm a 45 cm, su cuerpo es plano, poseen ventosas que rodean la boca (Hickman, Roberts y Larson, 2009). Algunas se alimentan de residuos orgánicos, pero la mayoría son carnívoras. Realizan intercambio gaseoso a través de la piel la cual tiene una innumerable cantidad de capilares (Roldan Perez, 1996).

El orden Acari (ácaros), perteneciente a la Clase Arachnoidea, es un grupo poco conocido, sus individuos tienen forma globular, con cefalotórax y abdomen fusionados, su tamaño varía entre 0,4 y 3 mm (Hickman, Roberts y Larson, 2009). Los ácaros acuáticos se encuentran en la mayoría de hábitats dulceacuícolas, tanto en ambientes lénticos como lóticos.

Los individuos de la Clase Bivalva varían entre 2 y 180 mm de largo, son filtradores de plancton y detritus. Los bivalvos de agua dulce son organismos tanto de aguas lóticas como lénticas. Se los encuentra en ecosistemas fangosos, son abundantes donde el pH del agua está por encima de 7,0 y donde existe gran cantidad de carbonatos.

2.3 La variabilidad en la composición y estructura de los macroinvertebrados acuáticos

Las comunidades de macroinvertebrados bentónicos han sido seleccionadas como uno de los grupos de organismos más relevantes para valorar la integridad del estado ecológico de los cuerpos de agua, ya que han demostrado ser buenos bioindicadores de la calidad del medio, al cumplir con algunos requisitos deseados como sensibilidad, factibilidad de muestreo, validez científica, entre otros (González y Lozano, 2004).

Sin embargo, y a pesar de las innumerables ventajas de estos organismos, se ha detectado que la estacionalidad puede ser un factor determinante que influye sobre la presencia de ciertos grupos o especies, y sobre la importancia de la determinación de la abundancia y diversidad de macroinvertebrados en relación con el clima; esto deja en claro que la estructura y composición de macroinvertebrados no varía solamente a causa de impactos ambientales antrópicos que afectan la calidad del agua, si no también muestran variaciones importantes como consecuencia de la variabilidad natural de las condiciones ambientales en los ecosistemas acuáticos (Chang *et al*., 2014).

En ocasiones, esta variabilidad natural (intraanual o estacional e interanual) que presentan las comunidades de macroinvertebrados acuáticos no permite utilizar el mismo criterio para evaluar las comunidades presentes en dos tramos diferentes de un cuerpo de agua, así como en dos épocas distintas, generando un cierto grado de incertidumbre en

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

los procesos de evaluación de la calidad del medio (Loeb y Spacie, 1994).

Las variaciones intra-anuales suelen seguir patrones cíclicos y direccionales, los cuales son relativamente predecibles, ya que están principalmente determinados por la variación estacional que sigue el clima. Sin embargo, las segundas (interanuales) son menos predecibles debido a que suelen derivar de fenómenos generados a una escala mayor, los cuales no siguen un patrón cíclico tan definido (Reynoldson y Wright, 2000).

La variación temporal de las comunidades de macroinvertebrados puede interferir en el proceso de evaluación del estado ecológico de los cuerpos de agua, incluso en el ámbito de dar resultados comparativos. Algunos autores, que han abordado este problema, proponen algunos puntos a tomar en cuenta para disminuir los efectos que la variabilidad temporal pudiera causar sobre las comunidades de macroinvertebrados acuáticos, en tales consideraciones el clima suele ser el principal factor de determinación de variantes.

Por lo que se pone de manifiesto la ventaja de caracterizar la comunidad de macroinvertebrados al menos en dos épocas del año, con diferentes condiciones ambientales, esto suele permitir el conocer cómo responde la comunidad frente a un rango de valores de variables ambientales, y así realizar las comparaciones necesarias para determinar que su presencia es por causa de contaminación y no por la estacionalidad. Sporka *et al*. (2006) manifiesta las ventajas de trabajar con bases de datos que contengan información de varias épocas dentro de un mismo año, ya que las variaciones climáticas de los últimos tiempos pueden ser las claves en tener un margen de error al momento de comparar estudios realizados anteriormente.

En estos casos, la toma de datos de campo se debe realizar siempre en la misma época del año, para que la comparación entre muestras sea suficientemente efectiva. Para ello, es necesario identificar cuál es la época del año en la que los cambios generados por las presiones antrópicas en las comunidades de macroinvertebrados son más notables y por lo tanto más fáciles de identificar, en este caso habría que colocar los monitoreos preferentemente en los momentos en que los efectos de estas presiones sean mayores.

3 La gestión ambiental y los procesos de restauración ecológica fluvial

3.1 ¿Qué es la restauración ecológica fluvial?

La gestión ambiental está concebida como el sistema integrado de procesos y acciones encaminadas a conseguir la recuperación ambiental de un área o zona degradada a partir de un análisis diagnóstico y una planificación. Dentro de este marco, la restauración ecológica fluvial representa un componente importante del proceso de gestión ambiental, el cual está encaminado a conseguir la recuperación del estado funcional de un cuerpo de agua hasta alcanzar su funcionalidad ecosistémica. Restaurar consiste en recuperar un sistema fluvial natural eliminando aquellos impactos o alteraciones que lo degradan, permitiendo así que se restauren los procesos y equilibrios naturales que facilitan a su vez que dicho sistema funcione de forma auto-sostenida en el tiempo (Herrera, 2013). Sin embargo, este proceso de restauración no siempre permite alcanzar las condiciones originales del sistema, transformándolo de todas maneras en un río de dinámica antropocéntrica, en lugar de la dinámica ecocéntrica propia de cuerpos de agua en estados prístinos u originales.

Para que un río recupere sus funciones naturales deberá recuperar su caudal y el espacio fluvial en el tiempo, lo que en la práctica es imposible, pero si es factible conseguir unos parámetros de aproximación, lo más cercanos posibles al comportamiento histórico del río. Esto se lo puede conseguir satisfactoriamente en la medida en que se reduzca el número de impactos ambientales negativos ocasionados sobre el cuerpo de agua.

Un elemento importante en el proceso de restauración es la participación de la comunidad, donde los usuarios del recurso deberán preguntarse: ¿Qué río queremos? y según esto, los actores locales van definiendo alcances de intervención, que a su vez determinan el grado de recuperación del cuerpo de agua. Este proceso debe ir acompañado de un fuerte componente de sensibilización y educación ambiental hacia la comunidad que se beneficia del recurso en una determinada zona (Herrera, 2013).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.2 Objetivos de la restauración ecológica fluvial

El objetivo general de la restauración ecológica fluvial es recuperar la funcionalidad ecosistémica de uno más cuerpos de agua, tanto en sus aspectos ecológicos como en los hidrogeológicos, de tal manera que estos cuerpos recuperen su condición de prestadores de servicios ecosistémicos hacia el ambiente y sus diferentes componentes.

Para conseguir este objetivo, es necesario identificar los siguientes aspectos que influyen directamente sobre la calidad ecológica e hidrogeológica de los cuerpos de agua: dinámica fluvial, biodiversidad local, resiliencia, compatibilidad con el entorno socio económico y ambiental, entorno paisajístico, valores patrimoniales y efectivos, legislación, presencia y tipología de las inundaciones, relación con el empleo en la zona (Herrera, 2013).

La dinámica fluvial representa la capacidad de un cuerpo de agua para marcar su trayectoria de acuerdo a un flujo de caudales y dinámica energética de sus aguas, en función de la pendiente y del relieve por donde surcan sus aguas. Esta dinámica de expresión física desempeña un papel fundamental en el ciclo de nutrientes del sistema, en la composición biológica del mismo y en la capacidad de erosión del río por la fuerza de choque de sus aguas. Toda esta dinámica se traduce, a la final, en la capacidad de autodepuración del río frente a los disturbios naturales o provocados que pueda enfrentar el cuerpo de agua (Elliot Munro, 2010).

Lo anterior va enlazado al tema de biodiversidad, que también es un aspecto muy importante porque permite medir y evaluar el estado de salud ecológica de un ecosistema y refleja claramente los efectos ocasionados por actividades de intervención. Es necesario considerar además que no todas las especies que pueden estar conformando la biota de un río son beneficiosas para el ambiente acuático. Existen especies exóticas o introducidas que pueden afectar seriamente la salud ecológica del ecosistema, es el caso de algunas especies de peces y plantas acuáticas, las mismas que en ocasiones atentan contra la salud poblacional de otras especies homólogas o en su defecto, pueden transformarse en plagas invasivas de difícil control y que demandan una atención inmediata de manejo (Fernández, Leguizamon y Acciareci, 2015).

La recuperación de la (auto) funcionalidad ecosistémica de un cuerpo de agua se la conoce como resiliencia, esta condición permite conocer en qué capacidad se encuentra un cuerpo de agua para soportar niveles de intervención antrópica o factores de cambio de las condiciones naturales y auto depurarse. Este fenómeno también está enlazado estrechamente con los procesos o iniciativas de restauración ecológica fluvial (Ferreira, 2012).

Todo proceso de restauración fluvial debe tomar en cuenta el contexto socio-económico y paisajístico en el que se desarrolla, ya que de los intereses de las personas asociadas a la dinámica del río dependen los niveles de intervención recibidos por el cuerpo de agua y las consideraciones de manejo que se den sobre el mismo. Por ejemplo, un entorno paisajístico dominado por actividad agrícola y ganadera, no tendrá el mismo impacto ambiental que un rio que está rodeado por un poblado donde predominan las edificaciones. Además, los intereses de conservación del primero se fundamentan en garantizar el aprovisionamiento de agua en calidad y cantidad, debido a que la comunidad usa el recurso hídrico como fuente de riego y abrevadero para los animales. En el segundo caso quizá no sea muy importante cuidar el estado de salud ecológica del río porque seguramente disponen de agua potable y lo utilizan en su lugar como sumidero de desechos; por consiguiente, los propósitos y acciones de restauración tienen distintos alcances, dependiendo de los intereses socio-económicos de la población circundante.

En algunos contextos, la presencia de un río como parte de su entorno paisajístico representa un elemento de riqueza etnográfica y cultural que, por tradición, merece un trato especial. En estos casos el río se transforma en una fuente de rituales y costumbres culturales (sitios de ocio, turismo, relajación, recarga espiritual, etc.) cuyas consideraciones habrá también que tomar en cuenta al momento de restaurarlo.

Es necesario también observar la legislación (nacional, provincial, municipal) de cada sitio o área a restaurar para determinar el alcance y viabilidad de la misma. Cada estado o cada provincia tienen su propio marco legislativo que regula este tipo de actividades según la normativa de cada país (Asamblea Nacional, 2010). Para el Ecuador, la ley de recursos hídricos es el instrumento que permite regular el uso y manejo del recurso hídrico a nivel nacional, bajo la rectoría única de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) y la coordinación con el Ministerio del Ambiente (MAE) como autoridad am-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

biental nacional.

Por último, un proceso de restauración demanda situaciones de intervención eventualmente complejas y en muchas ocasiones multidisciplinarias que requieren de cierto contingente de mano de obra. Por tanto, los procesos de restauración pueden generar fuentes de empleo, en los que las comunidades aledañas a los lugares de intervención pueden ser participantes activos dentro de la ingeniería del proceso de restauración fluvial (Figura 3).

Figura 3. Persona de la comunidad Espejo, páramo del Atacazo, participando en un proceso de restauración ecológica (reforestación con especies nativas) en las riberas de cuerpos de agua seleccionados.

3.3 Algunas estrategias para restaurar un ambiente fluvial

Para recuperar un espacio fluvial es necesario referirse a información histórica del área afectada o a ser intervenida. Esto permitirá tener un punto de referencia sobre el cual se medirán, a mediano y largo plazo, la eficiencia de las acciones tomadas en términos de restauración. Si no es factible conseguir esta información histórica, habrá que hacer un análisis de las condiciones de referencia de cuerpos de agua próximos o aledaños a la zona de intervención.

Uno de los aspectos más importantes es instaurar un régimen natural de caudales con el objetivo de no dilapidar ingentes esfuerzos económicos y humanos sobre una zona o tramo de río en el que no se conoce el comportamiento y dinámica de crecidas. De este conocimiento depende la sobrevivencia o resguardo de las especies u obras complementarias que se hagan en el área de restauración.

La eliminación de barreras u obstáculos dentro del cauce del canal fluvial (Figura 4) es otro de los aspectos a considerar debido a la importancia para mantener la conectividad hídrica del cauce y de esta manera, favorecer la migración de especies y el intercambio genético de las mismas.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Figura 4. Presencia de una barrera artificial colocada en el lecho de un río de páramo (muro de represamiento).

El establecimiento de zonas naturales de protección hidrológica en forma de franjas paralelas a los costados de los cauces de agua suelen ayudar a retener sedimentos que de otra manera pudieran caer al cuerpo de agua, ya que la vegetación circundante actúa como filtro natural, reteniendo sólidos que pudieran transformarse en causas de serios procesos de sedimentación de los cuerpos de agua. Estas zonas de protección hidrológica deberían estar estructuradas por vegetación natural heterogénea para que cada una de las especies vegetales cumpla un papel específico en el proceso de retención de sólidos (Garcia de Jalón, 2003).

En ocasiones y debido al daño ocasionado en un determinado tramo de río, es necesario acudir a plantaciones seminaturales con especies propias del sector (Figura 3). Este procedimiento es recomendable cuando se requiere acelerar el proceso de restauración frente al tiempo prolongado que tomaría un proceso de regeneración natural espontánea del medio afectado. Normalmente, este tipo de procedimientos demanda de un seguimiento prolongado de cuidado para asegurar el adecuado establecimiento de las especies utilizadas para restaurar el medio acuático.

Un aspecto importante que se vincula con el anterior es la creación y regeneración de micro hábitats con el objetivo de recuperar la biota natural del lugar. Esto se fundamenta en la creación de microambientes en los que se genere hojarasca, la misma que incrementará el aumento de carga orgánica en el tramo del río y la formación de limo, condiciones que favorecen el establecimiento espontáneo de algunas especies debido a la disponibilidad de nutrientes. Este escenario a su vez puede ser beneficioso para la creación de zonas de freza y refugio para especies mayores como los peces.

En ocasiones es necesario recuperar la biodiversidad del lugar alterado, para lo cual es válido introducir nuevamente especies vegetales preferentemente nativas y con dinámicas demostradas de tolerancia a factores contaminantes (Yánez y Bárcenas, 2012), generando así beneficios socio ambientales. En algunos casos este escenario puede tornarse beneficioso para las actividades productivas de la zona, ya que las comunidades pueden usar el recurso de manera directa o indirecta como mecanismo de subsistencia.

3.4 La bioingeniería aplicada a la restauración fluvial

La bioingeniería aplicada a la restauración y regeneración ambiental de los ríos consiste en el uso de plantas vivas o partes de éstas, conjuntamente con otros materiales biodegradables (maderas, rocas, mantas, redes orgánicas etc.) y otros sintéticos, generalmente fotodegradables (geotextiles, redes y geomallas de polipropileno), incorporando y aprovechando los elementos locales (topografía del sue-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

lo, microclima etc.) para conseguir objetivos estructurales en un proceso de restauración fluvial (Herrera, 2013). A partir de esta conceptualización, algunos autores conciben ciertas variaciones dependiendo del resultado final del proceso de restauración. Es así que, si el propósito de restaurar persigue mejorar la funcionalidad ecosistémica dejando fuera el uso de estructuras o insumos artificiales, eso se llama Ecoingeniería. Otros autores lo denominan a este proceso como ingeniería naturalística.

Este tipo de técnicas se utilizan para acelerar los procesos de recuperación ecológica de un cuerpo de agua, proceso al que a la naturaleza le tomaría mucho más tiempo recuperarla. La ingeniería convencional se diferencia porque prima el criterio de la funcionalidad de la infraestructura física, en lugar de priorizar la funcionalidad ecosistémica.

Dentro de las técnicas de ingeniería naturalística las que más sobresalen son aquellas que combinan las plantas vivas con material inerte como arena, palos, troncos, piedras y tierra. Con este material se consigue establecer plantaciones, estaquillados, estoconados o trasplantes de rizomas, trazados vivos, enramado y enrejado vivo.

Por otro lado, y como parte de las técnicas de bioingeniería, se puede utilizar material sintético, mezclado con material vivo. Las formas más comunes son: aplicación de mallas plásticas, geomembranas, rollos de fibra de coco, gaviones combinados con biorrollos, etc.

3.5 Estrategias de gestión para la aplicación de la bioingeniería

En una intervención de restauración hay que tener presente siempre el principio de cautela para no subestimar el potencial hidráulico de choque del río y a su vez, la capacidad de regeneración de la vegetación natural utilizada para la restauración. Hay plantas que crecen más rápido y se establecen más fácilmente que otras, pero no todas van al mismo ritmo. Esto supone un proceso de siembra progresiva y por tramos cortos, para ir evaluando el resultado de prendimiento y adaptación de las nuevas plantas.

Antes de plantear las acciones de restauración es necesario conocer perfectamente la dinámicas fluvial, hidrogeológica y biológica del cuerpo de agua para brindarle la mejor y más cercana aproximación a sus condiciones de origen (Ollero, 2011).

También es importante luego de recopilar información (datos históricos, cartográficos, etc.) de las condiciones del sitio a restaurar, efectuar un análisis in situ para verificar que lo planeado en papel, realmente será adaptado efectivamente a las condiciones del sitio en particular.

Al final del proceso, el mantenimiento y sostenibilidad de las actuaciones es fundamental, sobre todo durante los primeros tres a seis meses, tiempo en el cual la mayoría de especies vegetales sembradas en sectores contiguos al río se establecen y consiguen adaptarse a las condiciones del medio. Luego de este tiempo se recomienda estructurar un programa de monitoreo y seguimiento que incluya al menos una intervención anual y con el presupuesto adecuado equivalente al 20 % del valor total de la restauración (Herrera, 2013).

3.6 La participación ciudadana en el proceso de restauración ecológica fluvial

La única garantía para asegurar la sostenibilidad de las intervenciones de restauración fluvial es la participación ciudadana. Al hacer partícipes a los habitantes de la zona se consigue un empoderamiento de la iniciativa por parte de los actores locales frecuentemente interesados en mantener una buena calidad de los cuerpos de agua para diferentes fines (Nasimba, Yánez y Barros, 2017). Para conseguirlo, el proyecto debe considerar la participación activa de miembros de la comunidad, ya sea en la fase de planificación o en las distintas fases de su misma ejecución (Ollero, 2011).

La fase de socialización de la iniciativa es el aspecto más importante. De esta manera, la comunidad toma conciencia de la importancia de las acciones a tomar y cómo éstas benefician al entorno paisajístico de la zona y, en definitiva, contribuyen a mejorar la calidad de vida de la población en las áreas de influencia de los cuerpos de agua.

En este aspecto la iniciativa de los gobiernos locales con sus distintas figuras de gestión a nivel local tiene a cargo competencias específicas sobre estos temas. Los recursos económicos destinados para estas actividades deben provenir de una partida presupuestaria de los municipios y el sector privado, que garantice la disponibilidad permanente de recursos para asegurar la sostenibilidad de la iniciativa. Los equipos de trabajo deben ser multidisciplinarios y pueden provenir tanto del sector público como del privado. Luego de la fase de intervención del proyecto es recomendable designar comisiones

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

de veeduría ciudadana y de gestión para que estas asociaciones sean las encargadas de velar por el adecuado cumplimiento de las actividades previstas y aboguen por la continuidad y sostenibilidad de la iniciativa, valorable en dependencia de la aplicación de estrategias pluriparticipativas pero orientadas a la fiscalización e implementación de medidas judiciales vs. actores contaminantes.

4 Conclusiones

La presente investigación ha permitido generar un marco teórico de referencia que busca aportar a las iniciativas de restauración fluvial en Ecuador especialmente, pero no exclusivamente, en ambientes andinos. Esta primera fase del estudio ha permitido confrontar información generada a partir de los impactos ocasionados por la actividad antropogénica y sus posibles consecuencias sobre el estado de salud ecológica de las fuentes de agua primarias, utilizando como termómetros de calidad ambiental, al estado de salud de la cobertura vegetal y al recurso hídrico en términos de calidad y cantidad, con el apoyo de bioindicadores acuáticos y variables ambientales físico-químicas básicas.

Es importante señalar que esta investigación constituye una primera fase de un programa institucional de restauración ecológica de fuentes de agua primarias, liderados por el FONAG y en la que la microcuenca del Atacazo ha sido seleccionada como una unidad de análisis piloto a escala local, luego de lo cual sus resultados y experiencias favorables se replicarán a otras microcuencas aledañas a la ciudad de Quito. Resultados de esta fase posterior están siendo sistematizados para ser presentados en próximas publicaciones.

Si bien es cierto se tienen resultados satisfactorios en esta primera fase del proyecto, hay que tener claro que las iniciativas de restauración ecológica fluvial deben arrojar resultados favorables a mediano y largo plazos y para alcanzarlos habrá que conseguir el empoderamiento de la iniciativa por parte de la gente local, como una estrategia para garantizar continuidad de la iniciativa en el tiempo.

Se debe recordar siempre que resulta importante manejar de mejor manera las obras de captación de agua en las zonas altas, con la finalidad de causar el menor daño posible al ecosistema y a las especies asociadas, evitando el corte o interrupción de la conectividad hidrológica del sistema.

A nivel municipal es importante que este tipo de iniciativas de restauración ecológica fluvial se inserten como un componente más dentro de los planes de gestión ambiental que cada gobierno local (GAD) tenga que emprender en el territorio de su jurisdicción, y se lo aborde como una iniciativa que requiere un permanente seguimiento y monitoreo para detectar oportunamente los cambios que pueden presentarse en una determinada zona y tomar oportunamente las acciones de manejo que correspondan.

Agradecimientos

A la Universidad Internacional del Ecuador por financiar la mayor parte de la investigación, al igual que el apoyo logístico y de información brindado por el FONAG (Fondo para la Protección del Agua), institución adscrita al Municipio de la ciudad de Quito, y que a través de sus directivos, Dr. Bert De Biévre e Ing. Gustavo Galindo, nos abrieron las puertas y permitieron participar en el proyecto.

Un agradecimiento especial a todas las personas que apoyaron en algún momento el desarrollo de esta investigación, de manera particular a la bióloga María José Racines, por su apoyo y colaboración en el componente de determinación taxonómica de macroinvertebrados acuáticos, al igual que al Ing. Yandry Jumbo, quien asistió en las jornadas de campo y compartió valiosa información del proyecto como técnico del FONAG.

Referencias

Asamblea Constituyente. 2008. "Constitución de la República del Ecuador." [en línea] disponible en: https://goo.gl/kfu4Qq.

Asamblea Nacional. 2010. "Ley Orgánica de Recursos Hídricos." Registro Oficial 305, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/VR4c71.

Brinkhurst, R. O. 1980. Pollution Biology – The North American Experience. In *Brinkhurst R.O., Cook D.G. (eds) Aquatic Oligochaete Biology. Springer, Boston, MA. [en línea] doi: https://doi.org/10.1007/978-1-4613-3048-6_24*.

Calles, J. 2012. "La contaminación del agua en Ecuador." El agua en el Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/WERwSG.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Chang, FH, J. E Lawrence, B Rios-Touma y V. H. Resh. 2014. "Tolerance Values of Benthic Macroinvertebrates for Stream Biomonitoring: Assessment of Assumptions Underlying Scoring Systems Worldwide." *Environmental Monitoring and Assessment* 186(4):2135–2149. [en línea] doi: https://doi.org/10.1007/s10661--013--3523--6.

Chapman, P, M Farrell y R. Brinkhurst. 1982. "Relative tolerances of selected aquatic oligochaetes to individual pollutant and environmental factors." *Aquatic Toxicology* 2(1):47–67. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/0166--445X(82)90005--4.

Contreras, G, C Navarrete y J. Lara. 2008. "Hemípteros Acuáticos en dos estanques piscícolas del estado de México." *Revista Chapingo* 14(1):39–43. [en línea] disponible en: https://goo.gl/BmC9gS.

Elliot Munro, S. 2010. *El río y la forma: introducción a la geomorfología fluvial*. RIL Editores. [en línea] disponible en: https://goo.gl/yYNXg1.

Escobar, M. J, E Terneus y P. Yánez. 2013. "El Plancton como bioindicador de la calidad del agua en zonas agrícolas andinas: análisis de caso." *Revista Qualitas* 5:17–37. [en línea] disponible en: https://goo.gl/FJs8BB.

Fernández, L, E Leguizamon y H. Acciareci. 2015. *Malezas e invasoras de la Argentina. Tomo I: Ecología y manejo*. Bahía Blanca: Editorial EDIUNS. [en línea] disponible en: https://goo.gl/UWp1c9.

Ferreira, M. T. 2012. *Restauración, rehabilitación y gestión fluvial*. Restauración y gestión ecológica fluvial. [en línea] disponible en: https://goo.gl/HnsNxn chapter 1. Introducción, pp. 15–20.

Garcia de Jalón, D. 2003. Restauración de riberas. In *Asociación Española de Ecología Terrestre. Universidad de Alcalá.*

Giacometti, J y F. Bersosa. 2006. "Macroinvertebrados acuáticos y su importancia como bioindicadores de calidad del agua en el río Alambi." *Boletín Técnico Serie Zoológica* 2:17–32. [en línea] disponible en: https://goo.gl/tdZ9mY.

González, L y L. Lozano. 2004. "Bioindicadores como herramientas de evaluación de la calidad ambiental en la parte alta de la Microcuenca las Delicias." *Umbral Científico* (5):73–82. [en línea] disponible en: https://goo.gl/4JdS87.

González, T y J. García. 2007. Restauración de ríos: guía metodológica para la elaboración de proyectos. In *ETSIM Universidad Politécnica de Madrid. [en línea] disponible en: https://goo.gl/Nd8aCP*.

Herrera, T. 2013. *Manual metodoógico de actuaciones de restauración ambiental y uso público en ámbitos fluviales*. Servicio de Ingeniería, Sanidad y Calidad Ambiental, Málaga. [en línea] disponible en: https://goo.gl/dpx5DA.

Hickman, C, L Roberts y A. Larson. 2009. *Principios integrales de Zoología*. McGraw-Hill / Interamericana de España. [en línea] disponible en: https://goo.gl/J3c5Yp.

Jacobsen, D, R Schultz y A. Encalada. 1997. "Structure and diversity of stream invertebrate assemblages: the influence of temperature with altitude and latitude." *Freshwater Biology* 38(2):247–261. [en línea] disponible en: http://dx.doi.org/10.1046/j.1365--2427.1997.00210.x.

Konopko, S y M. Melo. 2009. "Larval morphology of Ectemnostega (Ectemnostegella) montana (Lundblad 1928) (Hemiptera: Heteroptera: Corixidae: Corixinae), with an emphasis on chaetotaxy." *Zootaxa* 2315:1–18. [en línea] disponible en: https://goo.gl/B1bUvv.

Lanza, G, S Hernández y J. Carbajal. 2000. *Organismos indicadores de la calidad del agua y de la contaminación (bioindicadores).* Ilustrada, Plaza y Vlades, México. [en línea] disponible en: https://goo.gl/cgxt6d.

Lloret, P. 2002. Problemática de los recursos hídricos en Ecuador, sistemas y tendencias en el manejo de cuencas hidrográficas. In *Quito: Foro de los Recursos Hídricos del Ecuador*.

Loeb, S y A. Spacie. 1994. *Biological Monitoring of Aquatic Systems*. Londres: Lewis Publishers. [en línea] disponible en: https://goo.gl/8SjvE3.

Magdaleno, F. 2011. "Gestión y restauración de los bosques de ribera." *Boletín del observatorio de la diversidad biológica y los procesos ecológicos en el medio rural* 3:7–14. [en línea] disponible en: https://goo.gl/1Z5JBs.

Ministerio del Ambiente. 2003. "Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente. TULSMA." Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/C75DWr.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Nasimba, C, P Yánez y L. Barros. 2017. "El agua como componente fundamental en atractivos turísticos naturales: el caso de Las Siete Cascadas de El Zapanal, Pangua, Ecuador." *Qualitas* 14:67–86. [en línea] disponible en: https://goo.gl/pYYRX2.

Ollero, A. 2011. "Restauración fluvial, principios, dificultades y propuestas. La perspectiva del CIREF." *Sauce* pp. 36–45. [en línea] disponible en: https://goo.gl/h48pe5.

Racines, M. 2014. Aplicación y factibilidad del índice ABI (índice biótico andino) en las principales microcuencas del Parque Nacional Cayambe Coca. In *Trabajo de titulación, Escuela de Biología Aplicada, Universidad Internacional del Ecuador*.

Ramírez López, J. L. 2015. Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del río Pitura, Provincia de Imbabura, Ecuador. Master's thesis Universidad Nacional de La Plata. [en línea] disponible en: https://goo.gl/s6Bqmn.

Reynoldson, T. B y J. F. Wright. 2000. *The reference condition: problems and solutions*. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. Proceedings of an International Workshop held in Oxford, UK, on 16-18 September 1997. [en línea] disponible en: https://goo.gl/QCG36i chapter Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques. Proceedings of an International Workshop held in Oxford, UK, on 16-18 September 1997, pp. 293–309.

Rodríguez Quiñónez, D. E. 2012. "El desarrollo sustentable de la Cuenca Amazónica en la Agenda Ambiental de la Comunidad Andina (Tema Central)." *Revista del Centro Andino de Estudios Internacionales* 12:73–112. [en línea] disponible en : https://goo.gl/BGUzY2.

Roldan Perez, G. A. 1988. *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Universidad de Antioquía. [en línea] disponible en: https://goo.gl/BDp9AS.

Roldan Perez, G. A. 1996. *Guía para el estudio de macroinvertebrados acuáticos del departamento de Antioquia*. Fondo Para la Proteccioón del Medio Ambiente "Jose Celestino Mutis". [en línea] disponible en: https://goo.gl/AetWa7.

Rosenberg, D y V. Resh. 1993. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. Springer US. [en línea] disponible en: https://goo.gl/E6czvb.

Solanes, M y H. Peña. 2003. *La gobernabilidad de la gestión del agua en Ecuador*. GWP - SAMTAC. [en línea] disponible en: https://goo.gl/itq1k9.

Sporka, F, H Vlek, E Bulánková y I. Krno. 2006. "Influence of seasonal variation on bioassessment of streams using macroinvertebrates." *The Ecological Status of European Rivers: Evaluation and Intercalibration of Assessment Methods* 188:543–555. [en línea] doi: https://doi.org/10.1007/978--1--4020--5493--8_36.

Terneus, E. 2015. "Efectos del potencial represamiento de ríos sobre la ictiofauna: una aproximación al establecimiento de caudales ecológicos." *Qualitas* 10:64–84. [en línea] disponible en: https://goo.gl/eMWSZc.

Terneus, E, M Racines y K. Hernández. 2012. "Evaluación ecológica del río Lliquino a través de macroinvertebrados acuáticos, Pastaza, Ecuador." *Universidad del Valle, Colombia: Facultad de Ciencias Naturales y Exactas* 16:31–45. [en línea] disponible en: https://goo.gl/8vnhxN.

Yánez, P y M. Bárcenas. 2012. "Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales del sector Baeza-El Chaco, Ecuador." *La Granja Revista de Ciencias de la Vida* 15(1):27–48. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n15.2012.03.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04

Artículo ciertífico / Scientific paper

Ecología Forestal

CC BY NC SA

ABYA YALA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador

Carbon measurement of the natural forest arboreo stratum, tinajillas-limon indanza

Carlos Alberto Jumbo Salazar[1,2*], Carla Daniela Arévalo Delgado[2], Lenin J. Ramirez-Cando[3]

[1*] *Grupo de Investigación en Ecología y Manejo de Recursos Naturales (GIERENA), Universidad Politécnica Salesiana Av. Morán Valverde s/n y Rumichaca, Quito, Ecuador.*
[2] *Fundación Cordillera Tropical*
[3] *Grupo de Investigación Ambiental para el Desarrollo Sustentable (GIADES), Universidad Politécnica Salesiana Av. Morán Valverde s/n y Rumichaca, Quito, Ecuador*

*Autor para correspondencia: cajbx@hotmail.com, cjumbo@ups.edu.ec

Artículo enviado el 13 de agosto de 2017. Aceptado, tras revisión el 23 de noviembre de 2017. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

Establecer la eficiencia de los bosques en materia de servicios ecológicos y funciones ecosistémicas, implica descubrir las condiciones que regulan su desempeño, mismas que guardan relación con las características funcionales de las especies vegetales. A fin de aportar con conocimiento sobre estos requerimientos, se condujo la presente investigación, considerando el comportamiento de las especies en función del hábitat, valor de importancia, interacciones intra- e interespecíficas, para con ello, arribar a la determinación de las cantidades de carbono almacenado en el estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas, ubicado al sur de la Cordillera Oriental de los Andes, cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago. Para el efecto, se aplicó el método recomendado por el Manual de Campo de la Evaluación Nacional Forestal del Ecuador, y los criterios del Panel Intergubernamental para el Cambio climático. Como resultado de la investigación, se estableció que en las 118 ha de bosque, el volumen de madera es de 13 521 m^3, es decir 115 m^3/ha, representado en su mayoría por especies de la familia *Melastomataceae*, entre las que consta *Miconia sp*. La cantidad de carbono almacenado, es de 4 835 t, resultando 41 t/ha. La familia *Melastomataceae* contiene mayor cantidad de carbono (13 t/ha), mientras que la especie con mayor cantidad de carbono almacenado es *Miconia sp* con un valor de 8 t/ha. Al resultar los índices de valor de importancia en favor de estas especies y juzgando por las Clases Naturales de Edad, se desprende que el bosque se encuentra en un período de sucesión vegetal, situación que contribuye a generar una importante dinámica en materia de captura de carbono.

Palabras claves: bosques, cambio climático, carbono, especies forestales, gases de efecto invernadero.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

To stablish the efficiency of the forest in the subject of ecological services and ecosystems functions, involve to discover the conditions to set its performance, which ones that keep the relationship with the functional characteristics of the vegetable species, in order to contribute with knowledge about this requirements, it takes the present investigation, considering the behavior of the species in the performance of the environment, or habitat, important value, interactions, intra- and interspecific, in order to reach and determinate the quantity of the stored carbon in the arboreal stratum of the natural forest Tinajillas, located in the south east Andes range in the canton Limon Indanza, Morona Santiago province, in order to reach it, we apply the suggested method for the support manual of the National evaluation of Ecuador, and the professional forest judgment of the Intergovernmental Panel on Climate Change, with this results of the investigation , we stablish that in the 118 ha forest, the volume of the timber is 1 3570 m^3, it means 115 m^3 /ha represented in the majority of the Family species *Melastomataceae*, in this one is the *Miconia sp*. The quantity of the stored carbon is 4 835 tones, and the result is 41 tones per hectare. The Family, *Melastomataceae* has more quantity of carbon (13 tones per hectare), then the specie with more quantity of stored carbon is *Miconia sp*, with a value of 8 t/ha the result of the indices of the important value in favor of this species and judging for the edge of the natural classes, it understands that the forest is in a period of the vegetable sucetion, situation that contribute to generate an important dynamic in the way to capture Carbon.
Keywords: Forest, climate change, Carbon, Forestry species, gases of the greenhouse efect.

Forma sugerida de citar: Jumbo Salazar, C., Arévalo Delgado, C. D. y Ramirez-Cando, L. J. 2018. Medición de carbono del estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):51-63. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

El cambio climático, es un fenómeno que altera el comportamiento de los distintos ecosistemas a nivel global. Se atribuye este cambio a actividades humanas y a causas naturales, destacando un predominio de las primeras; a partir del cual, son varios los efectos que se derivan, como el incremento en los eventos climáticos, éstos son las sequías y precipitaciones intensas (Riebeek, 2005). Por su parte, los gases de efecto invernadero (GEI) también aumentan, principalmente el dióxido de carbono (CO_2) producido por las actividades humanas, consumo de combustibles fósiles, deforestación y cambio de uso del suelo. A su vez, existen algunas particularidades que generan el cambio climático como: el incremento general y gradual de la temperatura, cambios en los comportamientos de las precipitaciones e incremento de eventos extremos (IPCC, 1995).

Una forma de mitigar estos efectos consiste en la capacidad de absorción de CO_2 de la atmósfera y fijar el carbono en la biomasa de los bosques, lo cual sucede por medio del proceso de fotosíntesis (FAO, 2006; Yáñez Sandoval, 2004). Por tanto, los bosques juegan un rol importante, tomando en cuenta que la vegetación y el suelo intercambian aproximadamente el 80% de carbono con la atmósfera. Gracias a este proceso almacenan cantidades de carbono en la biomasa de sus hojas, ramas, tallos y raíces, mientras liberan oxígeno hacia la atmósfera, actuando como sumideros de carbono (Pardos, 2010).

El carbono almacenado, se encuentra en la biomasa de los árboles y corresponde a la materia orgánica producida en un bosque, destacándose cuatro tipos de biomasa: biomasa viva, biomasa subterránea, materia orgánica muerta y biomasa en el suelo (FAO, 2002), variables que son consideradas en la presente investigación, a fin de determinar los volúmenes de carbono almacenado en los ecosistemas de bosques.

La importancia de realizar este tipo de mediciones en los bosques naturales para determinar el carbono almacenado radica en que éstos cumplen un papel crucial en el ambiente por los servicios que ellos ofrecen. Dentro de los más significativos están: la protección de cuencas hidrográficas, servicios hidrológicos, captura de carbono, belleza paisajística, biodiversidad (Robertson and Wunder, 2005).

2 Materiales y métodos

2.1 Ubicación del área de estudio

El bosque está ubicado al sur de la Cordillera Oriental de los Andes, en el cantón Limón Indanza, provincia de Morona Santiago, contiene 118 ha y comprende las formaciones vegetales Bosque siempre verde montano y Bosque siempre verde montano bajo.

2.2 Estratificación del área de estudio

El área se delimitó a partir de mapas topográficos. El perímetro se definió por georreferenciación, utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica y cartografía, apoyada con equipamientos GPS, interpretación de imágenes de satélites y fotos aéreas. Para la estratificación se aplicó la "Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales" (Rügnitz Tito, Chacón León and Porro, 2009)) que considera los factores fundamentales como: áreas con similares prácticas de manejo e historial del uso del suelo, características del suelo, microclima, relieve, especies de árboles existentes, estado de madurez del bosque, entre otros, mismos que inciden en la cantidad de carbono, estratificación preliminar y elaboración del mapa de estratificación del área.

2.3 Determinación del diseño del sitio de muestreo

Para la definición del tipo y diseño de muestreo se procedió de la manera siguiente:

2.3.1 Tipo de parcela

Se recurrió a la técnica de muestreo, instalando Parcelas Permanentes de Muestreo (PPM), por ser más eficientes y para realizar mediciones futuras (Corral-Rivas et al., 2013), a fin de ir determinando la dinámica del bosque en su estado natural, respecto de la fijación de carbono.

2.3.2 Diseño de muestreo

Se instaló un conglomerado, conformado por 4 parcelas de 60 x 60 m, localizadas en forma de "L" (Figura 1), dando una superficie de 14 400 m^2, distanciadas entre ellas a 250 m. El conglomerado, fue implementado para una superficie de 100 ha, como in-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

dica el Manual de Campo para la Evaluación Nacional Forestal 2012 (MAE, 2012).

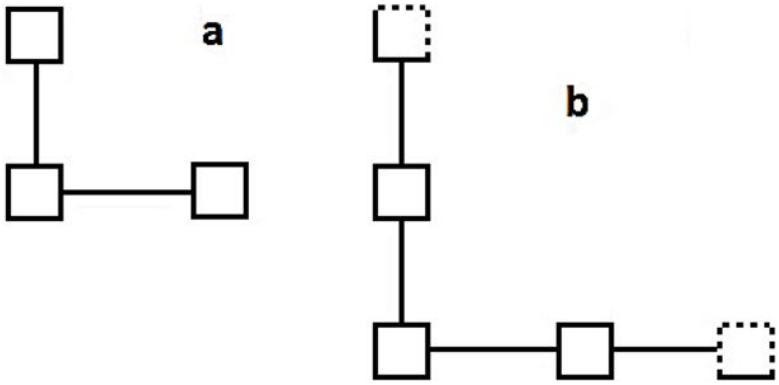


Figura 1. Diseño de conglomerado en forma de "L"

2.3.3 Medición de las parcelas

Las parcelas fueron medidas con respecto a un plano horizontal. Debido a que el terreno cuenta con una topografía irregular, se aplicaron los Factores de Corrección de Pendientes, establecidas por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación-FAO (FAO, 2004). Las parcelas fueron instaladas aplicando el programa Arcgis y GPS, con lo cual se identificó la ubicación y se determinó el punto central de cada parcela a fin de tener la referencia para establecer la forma y los límites de cada unidad de medida.

2.3.4 Instalación de las parcelas

Las parcelas, se proyectaron utilizando el método de faja o carril (FAO, 2015*a*) como se muestra en la Figura 1. Estas parcelas fueron subdivididas en 3 carriles de 20 x 60 m cada uno.

2.3.5 Efecto de borde de las parcelas

Para evitar el efecto de borde, se midieron los árboles que se encontraron dentro de la parcela, a partir de los 10 m de su eje central y no se consideraron los árboles ubicados fuera de esta distancia, con ello, se aseguró que los árboles no se encuentren cerca del límite externo del bosque.

2.4 Mensuración forestal

El DAP fue medido con corteza a 1,30 m, a partir de 10 cm. La medición consistió en iniciar desde el carril 1 de la primera subparcela de 20 x 60 m.

Para determinar la biomasa, carbono y CO_2, se realizaron las siguientes estimaciones:

2.4.1 Estimación del área basal

El área basal se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$AB = \frac{\pi}{4} \times DAP^2 \quad (1)$$

Donde:

AB = área basal, m^2.
$\frac{\pi}{4}$ = constante 0,7854.
DAP^2 = diámetro a la altura el pecho, m

2.4.2 Estimación del volumen

El volumen se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$Volumen = AB \times H \times ff \quad (2)$$

Donde:

AB = área basal, m^2.
H = altura total del árbol, m.
ff = factor de forma (Latifoliadas: 0,5).

2.4.3 Estimación de la biomasa forestal

La biomasa es un elemento principal para determinar la cantidad de carbono almacenado en el bosque

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

(FAO, 2015*b*). La biomasa forestal, da a conocer el ciclo del carbono a nivel global, por lo que constituye un elemento importante para estudios de cambio climático. Esta estimación se obtuvo de la multiplicación del volumen del bosque, la densidad de la madera, el factor de expansión de biomasa aérea y el factor de expansión de biomasa subterránea.

Acorde a las Directrices del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático, el factor de expansión aplicado fue de 1,20 para la biomasa aérea y subterránea (IPCC, 2006). El valor empleado para la densidad de madera fue 0,5 (Brown and FAO., 1997; IPCC, 2006). El valor de la biomasa, se obtuvo mediante la siguiente formula:

$$Bf = Volumen \times GE \times FEBa \times FEBs \quad (3)$$

Donde:

Bf = biomasa forestal, t.
GE = densidad de la madera, t/m^3 [0,5].
FEBa=factor de expansión de biomasa aérea (ramas,hojas) [1,20].
FEBs=factor de expansión de biomasa subterránea (raices) [1,20].

2.4.4 Estimación del carbono almacenado en el bosque

El carbono almacenado, se calculó a partir de los datos de biomasa forestal del área y se aplicó la fracción de carbono de 0,5, asumiendo que el 50% del peso de los individuos es carbono (IPCC, 1995). La fórmula para la obtención del valor de carbono almacenado es:

$$C = B \times Fc \quad (4)$$

Donde:

C = carbono en toneladas de carbono.
B = biomasa.
Fc = fracción de carbono [0,5].

2.4.5 Estimación del CO_2 almacenado en el bosque

Una tonelada de carbono equivale al secuestro de 3,67 t de CO_2. Para establecer la cantidad de CO_2 almacenado a partir de la cantidad de carbono se aplicó la fórmula:

$$CO_2 = C \times 3,67 \quad (5)$$

Donde:

CO_2 = cantidad de dióxido de carbono capturado en toneladas de CO_2.
3,67 = fracción que se utiliza para convertir carbono en toneladas de CO_2.

2.5 Identificación de especies

2.5.1 Recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas y codificadas en el campo, con nombre común y especificaciones. Se recolectaron muestras en estado fértil con flores o frutos para facilitar la identificación. Como parte de la recolección, se desarrolló un registro fotográfico.

2.5.2 Tratamiento y determinación de muestras

Las muestras de las especies recolectadas fueron puestas en una prensa y ésta a su vez fue colocada en una cámara de secado. La identificación de las muestras se realizó con el apoyo del Herbario de la Universidad del Azuay (UDA).

2.6 Índice de valor de importancia por especie

El Índice de Valor de Importancia por especie, es un índice sintético estructural, desarrollado principalmente para jerarquizar la dominancia de cada especie en rodales. El IVI puede fluctuar de 0 a 3.00 (o 300%). Al dividir el IVI por 3, se obtiene una cifra que fluctúa de 0 a 1.00 (o 100%). Este valor se conoce como el porcentaje de importancia. El valor de importancia, o el porcentaje de importancia, provee un estimado global de la importancia de una especie de planta en una comunidad determinada (Zarco-Espinoza et al., 2010), la fórmula es:

$$IVI = Dominancia\ relativa + Densidad\ relativa + \quad (6)$$
$$+ Frecuencia\ relativa$$

3 Resultados y Discusión

3.1 Composición del estrato arbóreo

El bosque natural Tinajillas, se encuentra en un proceso activo de sucesión, como reacción a las constantes perturbaciones de carácter tanto natural como antropogénico. En el primer caso, las razones

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

obedecen a que el bosque al encontrase en estribaciones pronunciadas, está sujeto a frecuentes deslizamientos. El carácter antropogénico, se debe a que hay fuertes presiones por procesos de colonización, implica que el estrato arbóreo del bosque cuenta con individuos que están superando la fase de latizales, hacia arbolitos. Las especies existentes por familia, se indica en la Tabla 1.

Tabla 1. Especies existentes por familia

ESPECIES EXISTENTES POR FAMILIA		
FAMILIA	**NOMBRE COMÚN**	**NOMBRE CIENTÍFICO**
Araliaceae	Pumamaqui	Schefflera morototoni (Aubl.)
Asteraceae	Negrillo	*Critoniopsis sp.*
Brunelliaceae	Bella maría	*Brunellia sp.*
Chloranthaceae	Pururu	Hedyosmum cuatrecazanum Occhioni
Clusiaceae	Achotillo	Vismia acuminata (Lam.) Pers
	Duco	Clusia latipes Planch. & Triana
Cunoniaceae	Sarar	Weinmannia pinnata Linnaeus
Ericaceae	Joyapa	Cavendishia bracteata Ruiz & Pav.
Escalionacea	Capulí	Escallonia paniculata (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult
Euphorbiaceae	Motilón	*Hyeronima alchornoides Allemão*
	Palo del diablo	Alchornea latifolia Swartz
Humiriaceae	Chanul	*Humiriastrum sp.*
Lauraceae	Canelo	Ocotea javitensis (Kunth) Pittier
	Jigua	Nectandra reticulata (Ruiz & Pav.) Mez
Melastomataceae	Flor rosada	Tibouchina lepidota Cogniaux
	Palo de agua	*Miconia sp.*
Melastomataceae	Poma rosa	Blakea grandulosa Gleason.
Rutaceae	Limoncillo	Zanthoxylum ekmanii (Urb.) Alain
Meliaceae	Sacha coco	Guarea kunthiana A. Juss.
Moraceae	Guarumbo	Cecropia sciadophylla Martius
Myricaceae	Laurel	Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.
Myrsinaceae	Jiripe	Myrsine andina (Mez) Pipoly
Myrtaceae	Chimulo	*Eugenia sp.*
Podocarpaceae	Guabisay	Podocarpus oleifolius D. Don ex Lamb.
Rubiaceae	Cebolla	*Elaeagia sp*
Staphyleaceae	Facte	Turpinia occidentalis (Sw.) G. Don
Bombacaceae	Higeron	*Matisia sp.*

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La composición interespecífica del ensayo que cubre una superficie de 14 400 m^2, está determinada por 925 individuos, agrupados en 27 especies, 27 géneros y 22 familias y presenta un amplio rango de individuos por especie, tal es el caso de Miconia sp que arroja 323 individuos (35% del total), mientras que 3 especies como *Blakea grandulosa, Escallonia paniculata, Matisia sp*, cuentan con 1 individuo. Las especies *Brunellia sp* y *Cavendishia bracteata*, cuentan con 2 individuos por ha, lo que demuestra que las referidas especies constituyen un indicador de rareza.

3.2 Índice de valor de importancia por especie

Las 5 especies con mayor Índice de Valor de Importancia se indican en la Tabla 2.

Las especies más abundantes son: *Miconia sp* con 323 individuos, *Weinmannia pinnata* con 86 individuos, *Clusia latipes* con 72 individuos, *Ocotea javitensis* con 56 individuos y *Zanthoxylum ekmanii* con 52 individuos.

Considerando el índice de valor de importancia (IVI), la especie más dominante es *Miconia sp* con un valor de IVI igual al 21%, *Weinmannia pinnata* y *Clusia latipes* con un IVI igual al 7%, *Ocotea javitensis* y *Zanthoxylum ekmanii* con un IVI del 6%. Las demás especies no superan el 5% de IVI.

Tabla 2. Especies existentes por familia

ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA (IVI) POR ESPECIE								
ESPECIE	**Aa**	**Ar%**	**Fa**	**Fr%**	**Da**	**Dr%**	**IVI 300%**	**IVI 100%**
Miconia sp.	323	34,92	3	4,35	6,15	23,22	62	21
Weinmannia pinnata Linnaeus.	86	9,3	3	4,35	1,95	7,35	21	7
Clusia latipes Planchon. & Triana	72	7,78	3	4,35	2,27	8,57	21	7
Ocotea javitensis (Kunth) Pittier	56	6,05	3	4,35	2,27	8,57	19	6
Zanthoxylum ekmanii (Urb.) Alain	52	5,62	3	4,35	1,82	6,86	17	6

Abundancia absoluta (Aa), Abundancia relativa (Ar%), Frecuencia absoluta (Fa), Frecuencia relativa (Fr%), Dominancia absoluta (Da), Dominancia relativa (Dr%)

3.3 Análisis de datos

3.3.1 Área basal, m^2

El área basal que contiene el bosque en su totalidad es de 2 131 m^2, lo que representa un valor de 18 m^2/ha. A nivel de familia, las especies con mayor área basal pertenecen a *Melastomataceae* con un valor de 8,40 m^2, es decir el 32% del total de las unidades de medición. De la misma forma la especie con mayor área basal es Miconia sp con un valor de 6,15 m^2, que corresponde al 24% del total de especies forestales.

3.3.2 Volumen, m^3

El volumen total de madera del área de estudio tiene un valor de 13 521 m^3, lo que equivale a 115 m^3/ha. El mayor volumen, se muestra en la familia *Melastomataceae* con un valor de 49,70 m^3/ha lo que representa un 30%, mientras que la especie con mayor volumen es *Miconia sp* 33,60 m^3/ha, es decir, el 20% del total.

Para la clasificación diamétrica, los diámetros fueron distribuidos en intervalos de 5 cm generando 9 categorías, cuyos resultados se muestran en la Tabla 3 y Figura 1:

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 3. Número de individuos y su volumen por clase diamétrica

CLASES DIAMÉTRICA			
CLASE	**RANGO**	**INDIVIDUOS**	**VOLUMEN, m^3**
I	$\geq$ 10 - 15 cm	514	26,94
II	$\geq$ 15,1 - 20 cm	191	25,02
III	$\geq$ 20,1 - 25 cm	98	25,34
IV	$\geq$ 25,1 - 30 cm	52	20,81
V	$\geq$ 30,1 - 35 cm	36	20,88
VI	$\geq$ 35,1 - 40 cm	15	12,17
VII	$\geq$ 40,1 - 45 cm	8	9,3
VIII	$\geq$ 45,1 - 50 cm	5	8,22
IX	$\geq$ 50,1 cm	6	16,42
TOTAL		925	165

La Tabla 3, expresa que la mayor cantidad de individuos, es decir 514 (56 %), se encuentran en la clase I, dando un volumen de 26,94 m^3. La clase II engloba 191 individuos con un volumen de 25,02 m^3; por su parte, la clase III con 98 individuos arroja un volumen de 25,34 m^3. Las tres primeras clases diamétricas que cubren el rango de 10 a 25 cm de DAP, cuentan con 803 individuos (87 %) y arrojan un volumen de 77,30 m^3 (47 %). El menor volumen se concentra en la clase IX con 16,42 m^3. Estos resultados, confirman que el bosque se encuentra en un proceso activo de sucesión vegetal, en el cual Miconia sp tiene un rol preponderante.

3.3.3 Biomasa forestal

La biomasa forestal total es de 9751 t, resultando un valor de 83 t/ha. La familia con mayor biomasa forestal es *Melastomataceae* con un valor de 36 t (30 %). La especie con una cantidad importante de biomasa es *Miconia sp*, con 24 t, indicando un 20 % del total.

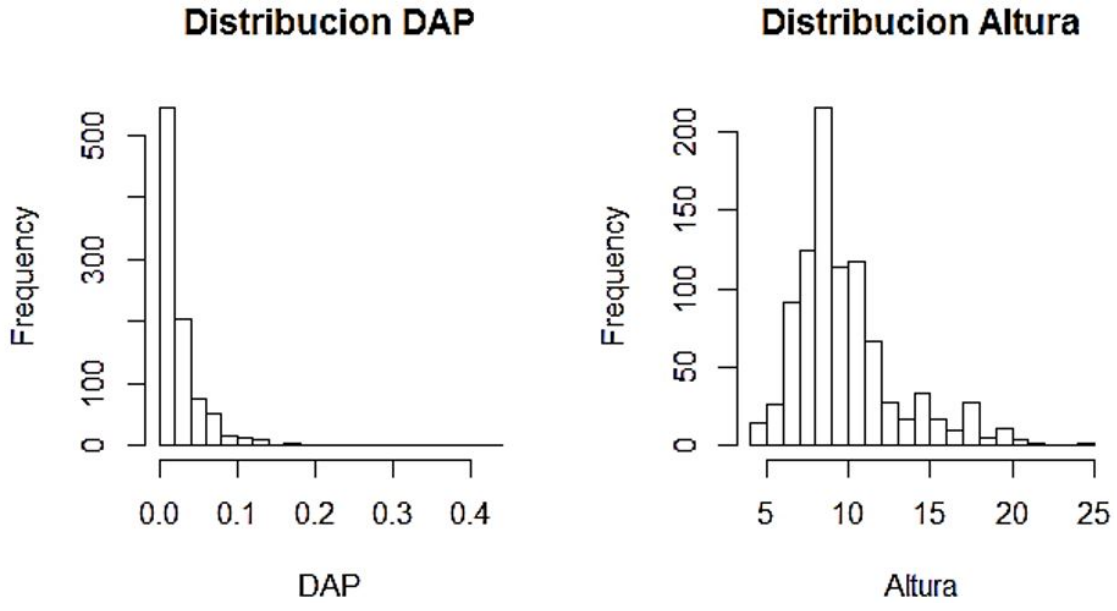


Figura 2. Relación de la distribución entre DAP y altura

LA GRANJA:*Revista de Ciencias de la Vida* 27(1) 2018:51-63.
©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.3.4 Carbono almacenado

El total del carbono almacenado abarca 4835 t/ha y el carbono almacenado es de 41 t/ha. La familia más representativa es *Melastomataceae* con una cantidad de 18 t lo que corresponde el 31%. La especie con mayor cantidad de carbono almacenado es *Miconia sp*, con un valor de 12 t, resultando el 20% de las unidades de medición del carbono almacenado.

3.3.5 CO_2 almacenado

En el área de estudio el CO_2 almacenado total es de 17 864 t, indicando una cantidad de 151 t/ha. La familia con más cantidad de CO_2 almacenado es *Melastomataceae* con 66 t representando el 30% del área de estudio. La especie con mayor contenido de CO_2 almacenado es *Miconia sp*, con un valor de 44 t, lo que significa un 20% del total existente en las unidades de medición de CO_2, que responde al gran número de individuos presentes en la zona de estudio. Por otro lado, como se observa en la Figura 3, el comportamiento dentro del estudio en términos de carbono y dióxido de carbono almacenado es heterogéneo.

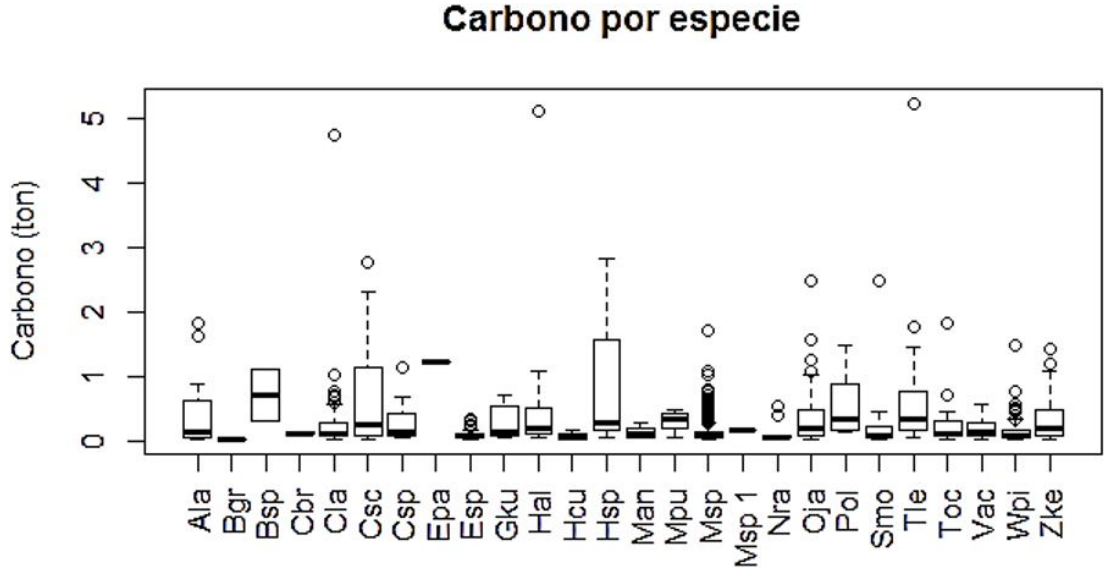


Figura 3. Boxplot del carbono almacena por especie, siguiendo la abreviatura expresada en la Tabla 1

3.4 Análisis estadístico de la estimación

En el análisis de la relación entre las variables DAP y la altura total del fuste de los árboles y la biomasa o carbono almacenado, se modeló siguiendo las fórmulas expresadas en la metodología y se corrobora con el comportamiento de la biomasa como variable dependiente del DAP.

$$Biomasa \simeq \alpha e^{\beta \times ln(DAP)} \quad (7)$$

Donde alfa y beta son coeficientes a estimar a partir de los datos, los cuales explican la relación entre la biomasa (carbono o CO_2) y el DAP, según Mora et al. (2017), las estimaciones de este tipo tienen el comportamiento antes mencionado.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

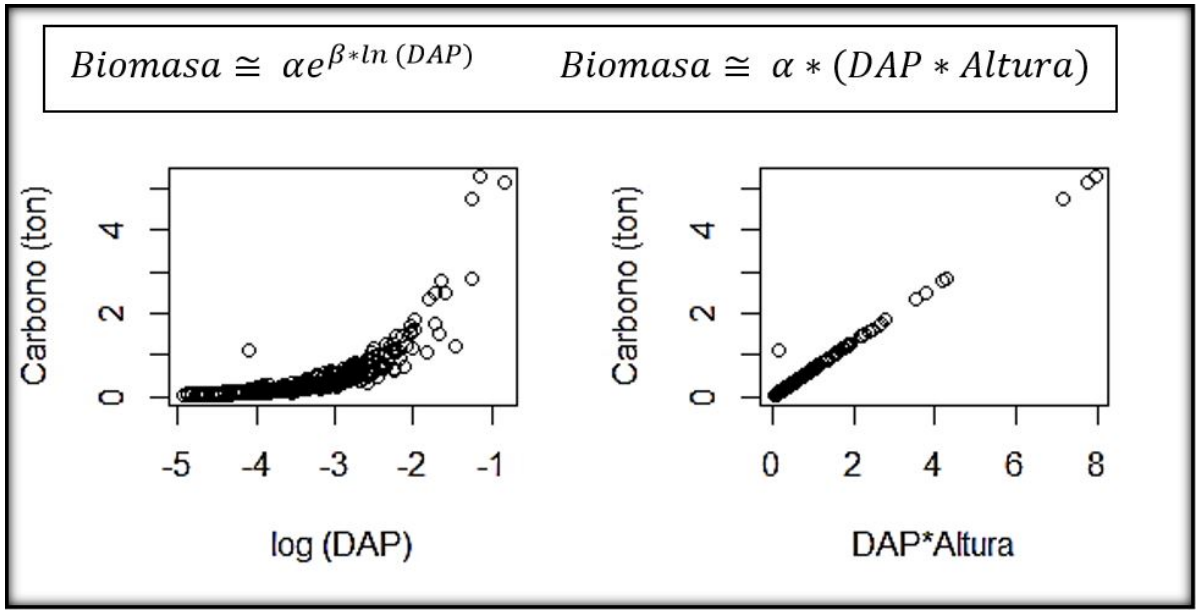


Figura 4. Gráficas de la estimación de carbono según las fórmulas expresadas

No existe una relación directa entre DAP y la altura del fuste, observable en la Figura 2. Particularmente DAP sigue una distribución lognormal por lo cual no se puede estimar una relación directa, sin embargo, es explicado con un coeficiente casi igual a 1, la relación entre la biomasa y la interacción entre DAP y altura como se muestra en la Figura 4. El análisis del modelo se muestra en la Tabla 5.

Tabla 4. Estimación de los modelos presentados en la Figura 4.

	Biomasa $\simeq \alpha \times (DAP \times Altura)$		**Biomasa** $\simeq \alpha e^{\beta \times ln(DAP)}$	
	Intercepto	**DAP×Altura**	**Intercepto**	**ln (DAP)**
Estimación	0,001249	0,660099	2,74546	1,22168
Error std	0,0012	0,0017	0,0404	0,0101
Probabilidad	0,31	2,00E-16	2,00E-16	2,00E-16
p-value (modelo)	2,20E-16		2,20E-16	
R2	0,994		0,9406	

3.4.1 Índices - análisis de biodiversidad

Los índices utilizados en el análisis de la medición de la biodiversidad son: Shannon – Weinner, Margalef y Simpson, De acuerdo a los valores obtenidos del análisis de los tres índices, existe una relación entre ellos, en razón que el resultado de mayor biodiversidad y riqueza coincide entre dichos índices. Las 3 especies con los índices más abundantes de diversidad son *Miconia sp, Weinmannia pinnata, Clusia latipes*, como se muestra a continuación:

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 5. Estimación de los modelos presentados en la Figura 4.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA BIODIVERSIDAD DE ESPECIES				
		ÍNDICES		
Especie	**Individuos**	**Shannon - Wienner**	**Margalef**	**Simpson**
Miconia sp.	323	0,53	109	8
Weinmannia pinnata Linnaeus.	86	0,32	29	116
Clusia latipes Planch. & Triana	72	0,29	24	165
Ocotea javitensis (Kunth) Pittier	56	0,24	19	273
Zanthoxylum ekmanii (Urb.) Alain	52	0,23	17	316
Elaeagia sp	43	0,21	14	463
Tibouchina lepidota Cogniaux	34	0,18	11	740
Hyeronima alchornoides Allemão	33	0,17	11	786
Turpinia occidentalis (Sw.) G. Don	31	0,16	10	890
Schefflera morototoni (Aubl.) Maguire, Steyerm. & Frodin	30	0,16	10	951
Alchornea latifolia Swartz	26	0,14	8	1266
Hedyosmum cuatrecazanum Occhioni	26	0,14	8	1266
Vismia acuminata (Lam.) Pers.	24	0,14	8	1485
Critoniopsis sp	18	0,11	6	2641
Myrsine andina (Mez) Pipoly	13	0,09	4	5063
Nectandra reticulata (Ruiz & Pav.) Mez	11	0,08	3	7071
Cecropia sciadophylla Martius	9	0,07	3	10 563
Myrica pubescens Humb. & Bonpl. ex Willd.	9	0,07	3	10 563
Podocarpus oleifolius D. Don ex Lamb.	7	0,05	2	17 462
Guarea kunthiana A. Juss.	7	0,05	2	17 462
Humiriastrum sp.	4	0,03	1	53 477
Eugenia sp.	4	0,03	1	53 477
Brunellia sp	2	0,02	0	21 390 6
Cavendishia bracteata (Ruiz & Pav. ex J. St.-Hil.) Hoerold	2	0,02	0	21 390 6
Blakea grandulosa Gleason	1	0,01	0	85 562 5
Escallonia paniculata (Ruiz & Pav.) Roem. & Schult.	1	0,01	0	85 562 5
Matisia sp.	1	0,01	0	85 562 5
Número de individuos	**925**			

4 Conclusiones

La flora del bosque natural Tinajillas – Limón Indanza, está compuesta por una alta diversidad, representada por 22 familias, 27 géneros y 27 especies. Las familias con más de una especie son: *Clusiaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Melastomataceae*; las familias con mayor influencia son *Melastomataceae, Clu-*

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

siaceae, *Cunoniaceae*, *Lauraceae* y *Euphorbiaceae*. Con respecto al género, el más abundante es *Miconia*, le siguen *Weinmannia* y *Clusia*. En cuanto a las especies predominantes, éstas son: *Miconia sp.*, *Weinmannia pinnata*, *Clusia latipes*.

El volumen de madera existente en el estrato arbóreo del bosque natural Tinajillas – Limón Indanza es de 115 m^3/ha, representado en su mayoría por la familia *Melastomataceae* y la especie *Miconia sp* con 35 m^3/ha y 23 m^3/ha respectivamente.

Con respecto al DAP, se presentaron 9 clases diamétricas, dando como resultado que la clase I, que comprende entre $\geq$ 10 - 15 cm, es la que mayor número de individuos y volumen de madera arroja, clase que conforma la mayor parte de los 514 individuos, resultando de estos un volumen de 18,68 m^3/ha

La cantidad de carbono almacenado en el área de estudio del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, contiene 4 835 t, resultando 41 t/ha. La familia con mayor cantidad es *Melastomataceae* con 13 t/ha. Así mismo, la especie con mayor cantidad de carbono almacenado es *Miconia sp*. con un valor de 8 t/ha.

El CO_2 almacenado en el área de estudio del bosque Tinajillas-Limón Indanza es 17 864 t, representando 151 t/ha. Igualmente, en el contenido volumen, carbono almacenado y CO_2 la familia y especie con mayor cantidad son *Melastomataceae* con 46 ton/ha de CO_2 almacenado y *Miconia sp*. con un valor de 31 t/ha de CO_2. En la clase I de DAP el CO_2 almacenado es 25 t/ha.

Referencias

Brown, S and FAO. 1997. *Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests: A Primer*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponible en: https://goo.gl/kNwLL1.

Corral-Rivas, J, B Vargas-Larreta, C Wehenkel, O Aguirre-Calderón and F. Crecente-Campo. 2013. *Guía para el Establecimiento, Seguimiento y Evaluación de Sitios Permanentes de Monitoreo en Paisajes Prodcutivos Forestales*. Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal, México. Disponible en: https://goo.gl/ejiQ3f.

FAO. 2002. "Captura de Carbono en los Suelos para un Mejor Manejo de la Tierra." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: https://goo.gl/64uVDj.

FAO. 2004. "Manual de campo: Inventario Forestal Nacional. Guatemala: Programa de Evaluación de los Recursos Forestales." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: https://goo.gl/MN7D5J.

FAO. 2006. "Los bosques y el cambio climático." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: https://goo.gl/mgrAX9.

FAO. 2015*a*. "Manual de Campo: Procedimientos para la planificación, medición y registro de información del Inventario Forestal Nacional del Paraguay." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: https://goo.gl/H622xd.

FAO. 2015*b*. "Términos y definiciones. Actualización de la evaluación de los Recursos Forestales Mundial a 2015." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: https://goo.gl/y29SPo.

IPCC. 1995. "Segunda Evaluación. Cambio Climático." Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático. Disponible en: https://goo.gl/K9jKQx.

IPCC. 2006. "Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Capítulo 4: Tierras forestales (Volumen 4: Agricultura, silvicultura y otros servicios de la tierra)." Task Force on National Greenhouse Gas Inventories. Disponible en: https://goo.gl/N4Fdag.

MAE. 2012. *Manual de Campo: Evaluación Nacional Forestal. Quito, Ecuador:*. Ministerio del Ambiente, Ecuador. Disponible en: https://goo.gl/yuzt7p.

Mora, J, N Ulloa, B Quezada and L. López. 2017. "El Carbono Acumulado en la Masa Arbórea de la Reserva Biológica Uyuca, Honduras." *Ceiba* 54(2):139–146. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.5377/ceiba.v54i2.3369.

Pardos, J. A. 2010. *Los ecosistemas forestales y el secuestro de carbono ante el calentamiento global*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agra-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

ria y Alimentaria, Ministerio de Ciencia e Innovación. Madrid – España. Disponible en: https://goo.gl/FD9PUu.

Riebeek, H. 2005. "The Rising Cost of Natural Hazards." NASA Earth Observatory. Disponible en: https://goo.gl/wiQ81C.

Robertson, N and S. Wunder. 2005. *Huellas Frescas en el Bosque. Evaluación de Iniciativas Incipientes de Pagos por Servicios Ambientales en Bolivia.* Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia. Disponible en: https://goo.gl/3uhkht.

Rügnitz Tito, M, M Chacón León and R. Porro. 2009. *Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales, 1 edición*. Lima, Perú: Centro Mundial Agroflorestal (ICRAF) / Consórcio Iniciativa Amazónica. Disponible en: https://goo.gl/7ZX1Q7.

Yáñez Sandoval, A. 2004. "La captura de carbono en bosques: ¿Una Herramienta para la Gestión Ambiental?" *Gaceta Ecológica* (70):5–18. Disponible en: https://goo.gl/CNDUaN.

Zarco-Espinoza, V. M, J. I Valdez-Hernández, G Ángeles-Pérez and O. Castillo-Acosta. 2010. "Estructura y diversidad de la vegetación arbórea del parque estatal "Agua Blanca", Macuspana, Tabasco." *Universidad y Ciencia, Trópico Húmedo* 26(1):1–17. Disponible en: https://goo.gl/QgWndL.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granjA:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.05

Artículo científico / Scientific paper

Ecología forestal

CC BY NC SA

Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la amazonía ecuatoriana

Dispersed trees and their effect on the productivity of paddocks in the ecuadorian amazonia

Carlos Congo Yépez[1*], Francisco Velástegui Lara[1]; Carlos Caicedo Vargas[2], Luis Rodríguez Iturralde[3], Antonio Vera Zambrano[4], Omar Montero Cruz[1]

[1*] *Programa de Ganadería y Pastos, Estación Experimental Central de la Amazonia, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Vía San Carlos km. 1.5, sector la Parker. Telf. +593-6-3700000, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador.*
[2] *Investigador Agropecuario, Estación Experimental Central de la Amazonia, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Vía San Carlos km. 1.5, sector la Parker. Telf. +593-6-3700000, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador. Convenio INIAP-ESPOCH-ENA.*
[3] *Programa de Ganadería y Pastos, Estación Experimental Santa Catalina, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Panamericana Sur km. 1, Vía Tambillo, sector Cutuglagua. Telf. +593-2-3008750, Mejía, Ecuador.*
[4] *Programa de Forestería, Estación Experimental Central de la Amazonia, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Vía San Carlos km. 1.5, sector la Parker. Telf. +593-6-3700000, La Joya de los Sachas, Orellana, Ecuador.*

*Autor para correspondencia: carlos.congo@iniap.gob.ec

Artículo recibido el 20 de junio de 2017. Aceptado, tras revisión, el 22 de diciembre de 2017. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

Se seleccionaron 50 potreros con 10 años de establecimiento asociados con especies arbóreas, se realizó el inventario de las especies dispersas con diámetros de altura al pecho (DAP) $\geq$ 5 cm. En cada árbol se midieron las variables dasométricas DAP, altura total, área de copa. Se determinó su frecuencia, riqueza, abundancia, índice de valor de importancia, índice de biodiversidad basada en la abundancia proporcional de especies (Shannon, Simpson) y de riqueza de especies (Margalef). Se registraron 22 familias, el 83,8% corresponden a especies maderables y el 16,2% a especies frutales, la familia con mayor número de individuos fue Boraginaceae con 194 individuos. El DAP explico el 96% de la variación del área basal, a medida que este se incrementó y las estructuras de las especies arbóreas no demostraron influir en la producción de materia seca, cobertura y calidad de las pasturas, debido a la baja cobertura arbórea (3,69 $\pm$ 0,67%) y al número de árboles dispersos en los potreros (5 a 7 árboles ha^{-1}). El impacto de la cobertura arbórea demostró que incide significativamente en el crecimiento de las plantas, demostrando que el cultivar Marandú tiene una mejor tolerancia a la sombra respecto al Dallis y Saboya. Se concluye que los ecosistemas ganaderos Amazónicos del centro norte del Ecuador de acuerdo a los índices de biodiversidad estarían considerados como bajos, pero con una riqueza media de especies dispersas en potreros. Se identificó 4 especies con mayor peso ecológico superior al promedio (3,4%) *Cordia alliodora*, *Cedrela odorata*, *Schizolobium parahybum* y *Psidium guajava*.

Palabras claves: Composición florística, cobertura arbórea, calidad nutritiva, índices de diversidad, índice de riqueza.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

Fifty paddocks of ten years of establishment associated with tree species were randomly selected; an inventory of all dispersed species with breast height diameters (DBH) $\geq$ 5 cm was made. Dasometric variables as DBH, total height and crown area were measured in each tree. Frecuency, richness, abundance, importance value index, biodiversity index based on proportional abundance of species (Shannon, Simpson) and species richness (Margalef) were determinated. 22 tree families were registered, 83.8 % correspond to timber species and 16,2 % to fruit species, the family with the highest number of individuals was Boraginaceae with 194,96 % of variation of the basal area was explained by BDH. As far as this increased and the structure of tree species do not shown any influence in dry matter production, cover and quality of the three found pasturages, due to low tree cover (3,69 $\pm$ 0,67 %) and to the number of dispersed trees in the paddocks (5 to 7 trees ha^{-1}). The impact of tree cover showed that it affects significantly on the growth of the plants, demonstrating that Marandú has the best shadow tolerance respect to Dallis and Saboya. It is concluded that the amazonian livestock system of northem central Ecuador according to the biodiversity indexes could be considerate as low levels, but with a medium richness of dispersed tree species on paddocks. The importance value index allowed identifying 4 species with the highest ecological weight over the average (3,4 %) *Cordia alliodora, Cedrela odorata, Schizolobium parahybum* and *Psidium guajava*.

Keywords: Floristic composition, tree cover, nutritional quality, diversity indexes, wealth indexes.

Forma sugerida de citar: Congo Yépez, C., Velástegui Lara, F., Caicedo Vargas, C., Rodríguez Iturralde, L., Vera Zambrano, A. y Montero Cruz, O. 2018. Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la amazonía ecuatoriana. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):64-76. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.05.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

En la Región Amazónica Ecuatoriana (RAE) las pasturas, constituyen la principal razón de cambio de uso de la tierra, desde el ecosistema original de bosque a superficie con intervención para actividades productivas, es así que el cultivo de pastizales constituye del 73 % al 84 % del aprovechamiento productivo del suelo en la RAE (Nieto y Caicedo, 2012).

Los sistemas tradicionales de producción ganadera en la RAE se basan en pasturas en monocultivos, que son pastoreados de manera extensiva y por lo general el componente leñoso se encuentra ausente; todo esto hace que las pasturas se lleguen a degradar y se presenten bajos indicadores productivos (MAGAP, 2014). Este tipo de sistema de producción contribuye de manera significativa una pérdida de la fertilidad natural de los suelos, contaminación de aguas, desertificación, merma de diversidad biológica y altas emisiones de gases de efecto invernadero (Tobar López y Ibrahim, 2008).

Diversos estudios demuestran que las razones más importantes para la introducción de árboles en los potreros es la provisión de sombra y alimento para el ganado, la obtención de productos como leña, madera y frutos (Esquivel *et al*., 2003; Restrepo, 2002). La versatilidad de los servicios que proveen los árboles y arbustos forrajeros favorecen la adopción y el diseño de sistemas silvopastoriles (SSP) (Lombo Ortíz, 2012; Esquivel *et al*., 2003; Restrepo, 2002).

Betancourt *et al*. (2003) menciona que el ganado dedica más tiempo a la rumia y al descanso en potreros con baja cobertura de árboles, lo cual influye directamente en la producción de carne y leche. Casasola Coto (2000) coincide que en sitios con mayor cobertura arbórea, los consumos del forraje se elevan hasta en un 3,7 %, además se evidencia una disminución del estrés calórico, temperatura rectal.

Estudios similares en el trópico húmedo del Ecuador han demostrado que los SSP contribuyen significativamente en la disminución de la temperatura ambiental de los potreros en horas de mayor incidencia (Criollo Rojas, 2013), aportan al mejoramiento de la calidad nutritiva y al rendimiento de forraje en base seca cuando la pastura está asociada a árboles frutales de guayaba (*Psidium guajaba*) como sombra y arbustos forrajeros (*Leucaena leucocephala Lam*.) para ramoneo (Caicedo *et al*., 2017; Villacis y Chiriboga, 2016).

Otros beneficios de la inclusión de árboles en pastura ya sea en forma de cercas vivas o árboles dispersos, es que pueden contribuir a la conservación de la agrobiodiversidad, funcionando principalmente como corredores biológicos para la fauna local (Beer *et al*., 2003).

Los árboles además contribuyen a la formación de redes estructurales, y proveen una serie de servicios ecosistémicos como fijación de carbono (Tobar López y Ibrahim, 2008). Las fincas ganaderas en la RAE con estas prácticas silvopastoriles conservan más el bosque, teniendo en promedio mayor área para la conservación (Ochoa y Valarezo, 2014).

En las provincias del centro norte de la RAE (Orellana, Napo, Sucumbíos) las fincas ganaderas con pastos naturales presentan el 43 % y con pastos mejorados el 56 % del área con asocio a árboles maderables y frutales (Subía *et al*., 2017; Virginio Filho, Caicedo y Astorga, 2014).

Con estos antecedentes el presente estudio tuvo como objetivo caracterizar el componente arbóreo (composición, riqueza, abundancia, diversidad y estructuras) en pasturas con al menos 10 años de establecimiento, además se pretende conocer el impacto de la cobertura arbórea sobre el crecimiento, cobertura, producción de fitomasa y calidad nutritiva del recurso forrajero presente en los potreros de la región centro norte de la Amazonia Ecuatoriana.

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

El estudio se realizó en fincas de pequeños y medianos productores ganaderos en áreas seleccionadas por el Proyecto "Mejoramiento de la productividad en áreas críticas de la Costa, Sierra y Amazonia", ubicadas en la Provincia de Orellana, en la parroquia La Belleza del cantón Francisco de Orellana ubicada entre los 100 y 720 msnm, a 77°4'17.84" y 77°1'54.27" de longitud oeste, 0°48'33.06" y 0°49'28.76" de latitud sur, se caracteriza por poseer suelos arcillosos de textura delgada, pH ácido (4.5 a 5.5) de topografía irregular, precipitación de 3126,9 mm/año, temperatura media anual de 26.19 °C, humedad relativa del 81 % GADMFO (2014); GADPRLB (2015).

En la parroquia Enokanqui del cantón La Joya de los Sachas ubicada entre 200 y 313 msnm, a 76°52'28.43" de longitud oeste, 0°12'52.74" de latitud sur, con características de suelos pardos o negros, pH medianamente a ligeramente ácido (5.5 a

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

6.5) y una topografía plana, precipitación de 3500-4000 mm/año, temperatura media anual de 26.5 °C, humedad relativa del 85% (GADMCJS, 2015; GADPRE, 2015).

2.2 Método de investigación

En el área de estudio se seleccionaron 50 potreros al azar con pasturas de 10 años de establecimiento asociados con especies forestales dispersas. Para la estimación del forraje producido se utilizó el promedio de 20 marcos de 1m × 1m siguiendo transeptos en zig-zag dónde cada 10 m se ubicó un punto de muestreo. El análisis de materia seca y bromatología, se realizó en el laboratorio de calidad de alimentos de la Estación Experimental Central de la Amazonía (EECA).

Se realizó el inventario de todas las especies de árboles dispersas con diámetros de altura al pecho (DAP) $\geq$ 5 cm y se identificaron por especie de cada potero. En cada árbol se midieron las variables dasométricas DAP, altura total (Ht) y área de copa (Ac), mediante el cálculo perpendicular del diámetro mayor y menor. El porcentaje total de la cobertura arbórea por potrero fue estimado de la suma de todas las áreas de las copas de los árboles existentes dividida entre el área total del potrero de referencia (Villanueva Najarro *et al*., 2013), mediante la siguiente fórmula:

$$CAB = \frac{\sum Acp}{Ap} \times 100 \quad (1)$$

CAB= Cobertura arbórea
Acp= Área de copas
AP= Área de potrero (ha)

Se calculó el índice valor de importancia (IVI) con base a los parámetros ecológicos de abundancia relativa, dominancia relativa y frecuencia relativa, determinados de acuerdo a formulación de Stiling (1996, citado por Villavicencio Enríquez y Valdez Hernández (2003)) y Lamprecht (1962, citado por Trujillo *et al*. (2012)):

Abundancia relativa (AR)

$$AR = \frac{Nmero\ de\ rboles\ por\ especie}{Total\ de\ individus} \times 100 \quad (2)$$

Frecuencia absoluta (FA)

$$FA = \frac{Nmero\ de\ potreros\ en\ que\ aparece\ la\ especie}{Total\ de\ potreros\ muestreados} \quad (3)$$

Frecuencia relativa (FR)

$$FR = \frac{Frecuencia\ absoluta\ por\ especie}{Frecuencia\ de\ todas\ las\ especies} \times 100 \quad (4)$$

Dominancia (DA)

$$DA = \sum Área\ basal\ (AB)\ de\ los\ individuos \quad (5)$$

$$AB = \frac{\pi}{4 \times DAP^2}$$

Dominancia relativa (DR)

$$DR = \frac{Dominancia\ por\ especie}{Dominancia\ de\ todas\ las\ especies} \times 100 \quad (6)$$

Índice de valor de importancia (IVI)

$$IVI = AR_i + FR_i + DR_i \quad (7)$$

El análisis de diversidad se realizó mediante índices basados en la abundancia proporcional de especies (Shannon, Simpson) y de riqueza de especies (Margalef) de acuerdo a las siguientes fórmulas (Citado por Del Río *et al*. (2003); Trujillo *et al*. (2012); Martella *et al*. (2012):

Índice de Shannon-Weaver (H')

$$H' = -\sum \frac{n_i}{N} \times log \frac{n_i}{N} \quad (8)$$

ni: número de individuos de la especie n
N: Número total de individuos de todas las especies

Índice de riqueza de Margalef (Rm)

$$Rm = \frac{S-1}{logN} \quad (9)$$

S: número de especies presente
N: número total de individuos de todas las especies

Índice de dominancia de Simpson (Ds)

$$Ds = 1 - \sum \left(\frac{n_i}{N}\right)^2 \quad (10)$$

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

N: número total de individuos de todas las especies
ni: número total de elementos pertenecientes a las especies

2.3 Análisis estadístico

Se empleó un análisis de varianza no paramétrico de Kruskall-Wallis para evaluar las diferencias de las variables de estructura del componente arbóreo (cobertura arbórea, área basal, densidad de árboles), se realizaron análisis de correlación de Pearson y regresión lineal entre la variable cobertura arbórea y las variables agronómicas de la pastura (altura, cobertura, materia seca, calidad nutritiva). Los análisis estadísticos se llevaron a cabo mediante el programa InfoStat (Di Rienzo *et al*., 2016).

3 Resultados y discusión

3.1 Composición florística

Se registraron un total de 315 individuos, pertenecientes a 29 especies y a 22 familias en un área de muestreo de 86.35 ha, se identificaron 3 pasturas asociadas a las especies arbóreas: Saboya común (*Panicum maximum*), representando el 37% de los potreros evaluados, seguido por el Marandú (*Brachiaria Brizantha*) 34% y Dallis (*Brachiaria decumbens*) con el 29%. El 83,8% corresponden a especies maderables y el 16,2% a especies frutales. La familia de árboles con mayor número de especie fue Lauraceae con 3 especies (Aguacate, Canelo, Jigua), seguidas por *Meliaceae* (Cedro, Manzano colorado), *Malvaceae* (Boya, Zapote), *Annonaceae* (Chirimoya, Guanábana), *Arecaceae* (Coco, Chonta), con dos especies, mientras que la familia con mayor número de individuos fue *Boraginaceae* con 194 individuos, representando el 61,6%, de abundancia relativa en relación al total de individuos (n = 315), seguida por *Meliaceae* y *Myrtaceae* con 20 y 17 individuos. (Tabla 1). Subía *et al*. (2017) indican que los sistemas silvopastoriles más representativos que se encuentran en el centro norte de la RAE son sistemas de producción de tipo tradicional (árboles dispersos) y que en las fincas ganaderas estudiadas se encontraron especies arbóreas de tipo maderables pertenecientes a la familia *Lauraceae* (Laurel) y frutales de la familia *Fabaceae* (Guaba) representando el 43% de pasturas asociadas con sistemas silvopastoril tradicionales. Con el mismo criterio Vargas *et al*. (2014) menciona que los cultivos de cacao, café y ganadería con sistemas agroforestales en la RAE tienen asocio principalmente con especies forestales y frutales, lo que contribuye a la conservación de la biodiversidad y el manejo sostenible de la actividad agrícola y pecuaria de la región.

3.2 Especies y variables dasométricas

Tabla 1. Distribución de riqueza y abundancia de especies arbóreas en las familias registradas en potreros de la Amazonía centro norte

Familia	Riqueza	Abundancia	
	Nº. especie	Absoluta	Relativa
Lauraceae	3	13	4.1
Meliaceae	2	20	6.3
Malvaceae	2	6	1.9
Annonaceae	2	3	1.0
Arecaceae	2	10	3.2
Myristicaceae	1	2	0.6
Moraceae	1	1	0.3
Myrtaceae	1	17	5.4
Vochysiaceae	1	2	0.6
Sapindaceae	1	1	0.3
Rutaceae	1	8	2.5
Rubiaceae	1	1	0.3
Polygonaceae	1	4	1.3
Boraginaceae	1	194	61.6
Bombacaceae	1	1	0.3
Bignoniaceae	1	2	0.6
Anacardiaceae	1	3	1.0
Caesalpinaceae	1	13	4.1
Lamiaceae	1	3	1.0
Fabaceae	1	4	1.3
Euphorbiaceae	2	5	1.6
Cecropiaceae	1	2	0.6
Total	29	315	100

En la Tabla 2 se presenta el nombre científico y común de las especies identificadas, al igual que los promedios de las mediciones dasométricas. La altura promedio fue de 7.58 $\pm$ 0.23 m en un rango entre 2.15 y 28.27 m, el 83% de las especies registraron alturas entre de 2.15 y 10.86 m. El DAP promedio fue de 36.24 $\pm$ 1.40 cm en un rango de 11.14 y 198.94 cm, el 95% de las especies registraron DAP entre el 11.14 y 73.74 cm. El área de las copas registraron promedios de 73.14 $\pm$ 5.06 m^2, el 97% de las especies registraron rangos de área de copas entre el

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

0.64 y 256.09 m^2, la especie arbórea Higuerón (*Ficus obtusifolia Kunth*) fue la que registró la mayor altura (28.27 m), DAP (175.1 cm) y área de copa (604.8 m^2).

Los principales maderables y frutales con mayor frecuencia en los potreros de acuerdo al número de árboles (>8), registraron clases diamétricas de entre 10-38 cm (Cedro 73%; Laurel 84%) y 39-65 cm (Pachaco 84%) para el caso de los maderable (Figura 1a). En los frutales los rangos registrados de clas0es diamétricas estuvieron comprendidos entre el 22-30 cm para el Aguacate con el 80%; Chonta 63%, Guayaba 47% y del 31-39 cm con una frecuencia para el Aguacate del 20%; Chonta 13%, Guayaba 29% (Figura 1b).

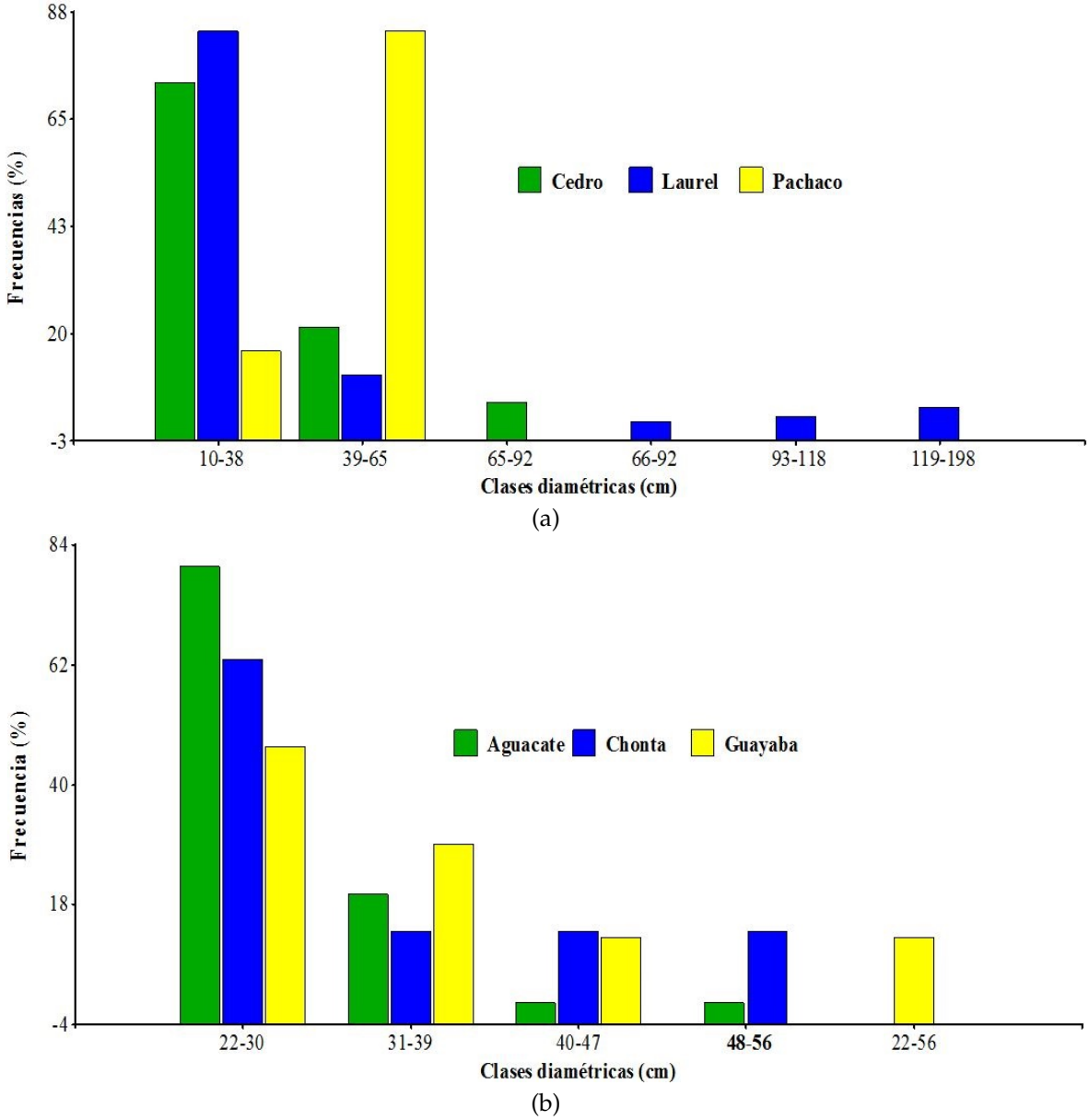


Figura 1. Clase diamétrica de los principales forestales (a) y frutales (b) en los 50 potreros evaluados del centro norte de la RAE

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 2. Especies y variables dasométricas de árboles dispersos en potreros de la Amazonía centro norte

Nombre científico	Nombre común	Promedio			
		Nº. Árboles	Altura (m)	DAP (cm)	Área de copa (m2)
Cordia alliodora	Laurel	194	7.1	32.8	51.8
Cedrela odorata	Cedro	19	7.3	36.9	52.4
Psidium guajava	Guayaba	17	4.6	33.0	88.3
Schizolobium parahybum	Pachaco	13	8.7	44.5	152.0
Bactris gasipaes	Chonta	8	6.7	34.4	87.4
Citrus sinensis	Naranjo	8	10.2	35.5	69.1
Nectandra hihua	Jigua	6	10.9	45.3	76.9
Matisia cordata bonpl	Zapote	5	10.8	46.5	96.8
Persea americana	Aguacate	5	8.8	53.4	217.0
Myroxylon pereirae	Bálsamo	4	10.2	37.8	91.8
Sapium sp.	Lechero	4	10.6	44.6	109.9
Triplaris cumingiana	Fernán Sánchez	4	5.2	33.7	140.3
Spondias anacardiaceae	Ciruelo	3	8.8	25.3	37.4
Vitex gigantea	Pechiche	3	8.7	32.1	140.1
Annona cherimola	Chirimoya	2	8.3	31.0	58.5
Cecropia peltata	Guarumo	2	6.8	34.9	86.8
Cocos nucifera	Coco	2	14.8	70.0	191.8
Dialyanthera gracilipes	Sangre de gallina	2	10.2	44.7	170.8
Erisma uncinatum	Arenillo	2	10.8	82.3	404.4
Octea floribunda	Canelo	2	13.9	66.4	78.2
Tabebuia sp.	Guayacán	2	7.8	34.5	120.6
Annona muricata	Guanábana	1	7.5	23.9	91.6
Calycophyllum spruceanum	Capirona	1	8.3	31.2	208.4
Crescentia cujete	Lechero	1	5.1	22.6	26.7
Ficus obtusifolia Kunth	Higuerón	1	28.3	175.1	604.8
Guarea kunthiana	Manzano colorado	1	5.4	27.7	12.9
Nephelium lappaceum	Achotillo	1	7.2	95.5	122.7
Ocrhoma pyramidale	Boya	1	7.9	82.4	4.0
Trichistandra sp	Ceibo	1	8.1	65.3	39.3

3.3 Índice de valor de importancia (IVI)

El IVI permitió identificar 4 especies con mayor peso ecológico superior al promedio (34%) y 25 especie menor al promedio. La especie forestal Laurel (*Cordia alliodora*) registro un IVI del 49,1%, seguidas del Cedro (*Cedrela odorata*) y Pachaco (*Schizolobium parahybum*) con un IVI del 7,1% y 5,5% (Tabla 3), convirtiéndose en las 3 especies forestales con mayor importancia en los potreros de la Amazonía centro norte desde el punto de visto ecológico, abundancia, frecuencia y dominancia.

Las especies frutales ocupan el segundo orden de importancia ecológico, siendo así las especies de Guayaba (*Psidium guajava*), Chonta (*Bactris gasipaes*), Aguacate (*Persea americana*), Naranja (*Citrus sinensis*) y Zapote (*Matisia cordata bonpl*) con un IVI del 5,4%; 3,2%; 3,0%; 2,8% y 2,3% respectivamente (Tabla 3). La hegemonía de estas especies está asociada a la facilidad de propagarse mediante regeneración natural y a su alta producción de semilla. Grijalva (2012) en su informe de los recursos fitogenéticos forestales del país, menciona que el Laurel como especie nativa y el Pachaco como especie exótica están consideradas entre las 10 principales especies utilizadas con valor maderable autorizadas por el Ministerio del Ambiente (MAE), en el mismo informe hace referencia al Cedro como una de las principales especie amenazada en el país, considerando una veda de mediano plazo, entendiéndose como tal la prohibición de corte de esta especie por el MAE mediante acuerdo ministerial N°.167 (Presidencia de la República del Ecuador, 2007). Por otra parte Villanueva Najarro *et al*. (2013) menciona que especies como el Laurel, Cedro y Guayaba son mantenidas en potreros por su rusticidad ante el manejo de las pasturas, por su alta producción y fácil dispersión de semillas y por la proyección de sombra que estas especies brindan para el ganado.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 3. Abundancia (A), dominancia (D), frecuencia (F) e índice de valor de importancia (IVI) de las especies arbóreas más comunes en potreros de la Amazonía centro norte (n=50)

Especie arbórea	Porcentaje (%)			
	A	F	D	IVI
Cordia alliodora (Laurel)	61.6	30.7	55.0	49.1
Cedrela odorata (Cedro)	6.0	10.0	5.1	7.1
Schizolobium parahybum (Pachaco)	4.1	8.0	4.4	5.5
Psidium guajava (Guayaba)	5.4	7.3	3.3	5.4
Bactris gasipaes (Chonta)	2.5	5.3	1.7	3.2
Persea americana (Aguacate)	1.6	3.3	4.0	3.0
Citrus sinensis (Naranja)	2.5	4.0	1.8	2.8
Matisia cordata bonpl (Zapote)	1.6	3.3	1.9	2.3
Ficus obtusifolia Kunth (Higuerón)	0.3	0.7	5.0	2.0
Nectandra hihua (Jigua)	1.9	2.0	2.0	2.0
Sapium sp. (Lechero)	1.3	2.7	1.4	1.8
Myroxylon pereirae (Bálsamo)	1.3	2.7	1.0	1.6
Triplaris cumingiana (Fernán Sánchez)	1.3	2.7	0.8	1.6
Erisma uncinatum (Arenillo)	0.6	1.3	2.4	1.4
Cocos nucifera (Coco)	0.6	1.3	1.9	1.3
Vitex gigantea (Pechiche)	1.0	2.0	0.6	1.2
Octea floribunda (Canelo)	0.6	1.3	1.5	1.1
Spondias anacardiaceae (Ciruelo)	1.0	2.0	0.3	1.1
Dialyanthera gracilipes (Sangre de gallina)	0.6	1.3	0.9	1.0
Nephelium lappaceum (Achotillo)	0.3	0.7	1.5	0.8
Cecropia peltata (Guarumo)	0.6	1.3	0.4	0.8
Annona cherimola (Chirimoya)	0.6	1.3	0.4	0.8
Ocrhoma pyramidale (Boya)	0.3	0.7	1.1	0.7
Tabebuia sp. (Guayacán)	0.6	0.7	0.4	0.6
Trichistandra sp (Ceibo)	0.3	0.7	0.7	0.6
Calycophyllum spruceanum (Capirona)	0.3	0.7	0.2	0.4
Guarea kunthiana (Manzano colorado)	0.3	0.7	0.1	0.4
Annona muricata (Guanábana)	0.3	0.7	0.1	0.4
Crescentia cujete (Lechero)	0.3	0.7	0.1	0.4
Total	100	100	100	100

3.4 Patrones estructurales de los árboles en potreros

La cobertura promedio de la cobertura arbórea fue de $3.69 \pm 0{,}67\%$, mientras que la mayoría de los potreros (92%) registraron coberturas arbóreas de entre 0,15 y 9% (Figura 2b) evidenciado un bajo porcentaje de sombra debido a la densidad de árboles presentes, la mayoría de los potreros (48%) estuvieron comprendidos en densidades de 5 a 7 árboles ha^{-1} (Figura 2a), bajo este contexto se evidencia una baja presencia de árboles por unidad de superficie, Esquivel *et al*. (2003) ponen énfasis en que existe una gran diversidad de especies de árboles dispersos en los potreros, pero en baja densidad para no interferir con la actividad ganadera, otro factor a considerar es el daño y la mortalidad de plántulas causada por el ganado en pastoreo y a la regulación de sombra por los ganaderos mediante el uso frecuente de herbicidas o chapeas (Camargo *et al*., 2000).

De acuerdo a Paredes y Subía (2014) en fincas diversificadas con sistemas agroforestal con cacao y café de alto potencial en la RAE, encontraron coberturas arbóreas de entre el 3 y el 76% con un promedio de 26,5%, mientras que Villanueva Najarro *et al*. (2013) indican que en fincas ganaderas las coberturas arbóreas en potrero encontradas fueron de 10 y 20% en el bosque subhúmedo tropical de Costa Rica.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

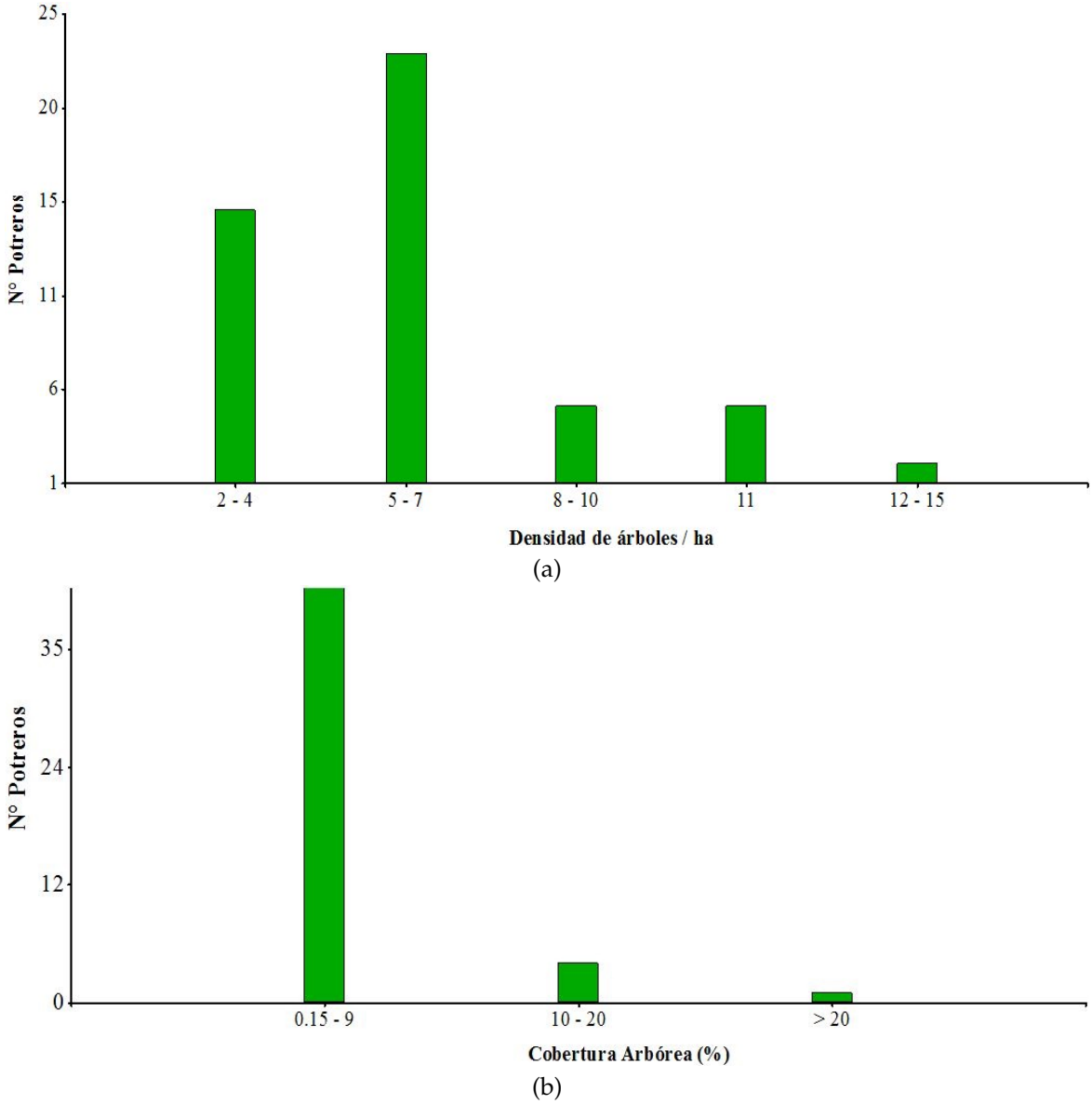


Figura 2. Distribución de la densidad (a) y la cobertura (b) de árboles/ha dispersos en los 50 potreros evaluados del centro norte de la RAE

No se encontró diferencias significativas para el área basal, cobertura arbórea, densidad de árboles ($p > 0.05$; Tabla 4), estos resultados reflejan que el manejo de la cobertura vegetal no está influenciado por el tipo de pastura. Se encontró que el DAP explicó el 96% de la variación del área basal, a medida que se incrementa (Figura 3).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 4. Resumen de variables estructurales en tres pasturas de la Amazonía centro norte

Variables	Pastura		
	Dallis	Marandú	Saboya
Area basal (m^2ha^{-1})	0.56 ± 0.09 a	0.57 ± 0.13 a	1.53 ± 0.72 a
Cobertura arbórea (%)	4.80 ± 1.61 a	3.27 ± 0.78 a	3.69 ± 1.01 a
Densidad de árboles	6.47 ± 0.65 a	6.15 ± 1.02 a	6.25 ± 0.65 a

Letras iguales dentro de la misma fila indican no diferencia significativa (p>0.05) según Kruskall- Wallis

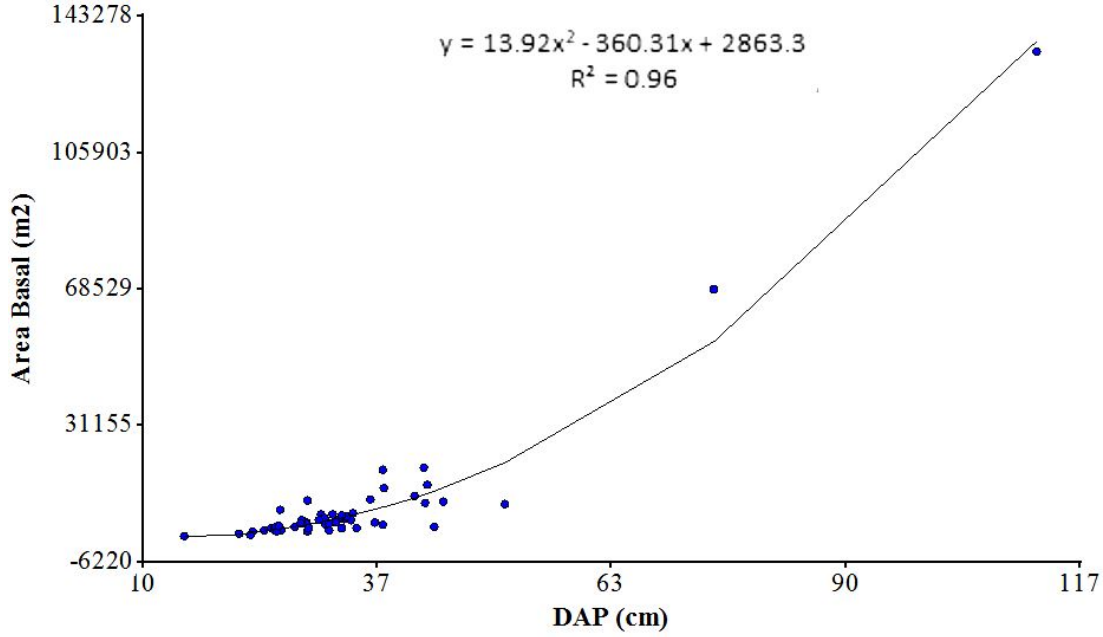


Figura 3. Incremento de DAP respecto a area basál

3.5 Índices de diversidad estructural de las masas forestales

Los potreros presentaron una diversidad de H'=1.99 de acuerdo al índice de Shannon (H'), lo cual indica que los ecosistemas ganaderos de la Amazonía centro norte poseen una baja biodiversidad de árboles, resultado similar al encontrado por Paredes y Subía (2014) donde reportó valor más bajo en biodiversidad en los sistemas de producción con pasturas, debido principalmente a la poca presencia de especies forestales.

Considerando el criterio reportado por Martella *et al*. (2012), valores <a 2 de este indicador se consideran bajos y >a 3 son altos, los ecosistemas con mayores valores son los bosques tropicales y arrecifes de coral, y los menores las zonas desérticas, entre mayor sea este índice el ecosistema es altamente biodiverso.

El índice de riqueza fue intermedio (Rm=3.95) de acuerdo al índice de Margalef (Rm), considerando que valores <a 2 son relacionadas a zonas con baja diversidad y valores >a5 zonas de alta diversidad (Campo y Duval, 2014). El índice de dominancia de Simpson (1949) (Ds) fue de 0.61 explicando la dominancia de una especie por sobre la demás, este índice está fuertemente enfocado hacia las especies más abundantes de la muestra y es menos sensible a la riqueza de especies (Martella *et al*., 2012; Del Río *et al*., 2003).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.6 Efecto de la cobertura arbórea sobre la productividad de la pastura

Las pasturas Dallis, Marandú, Saboya no presentaron diferencia significativas (p >0.05) para cobertura, materia seca y proteína cruda, al analizar el impacto del efecto de la cobertura arbórea sobre estas variables. En contraste, la altura de planta en la pastura Marandú (p <0.05; Tabla 5) fue significativamente mayor que Dallis y Saboya, reflejando así una mejor tolerancia a la cobertura arbórea, coincidiendo con lo reportado por Carvalho (1997), en su estudio de asociación de pasturas con árboles, concluyendo que las gramíneas que más toleraron la sombra fueron Brachiaria brizantha cv. Marandú, Panicum maximum y Brachiaria decumbens.

Tabla 5. Impacto de la cobertura arbórea sobre las variables agronómicas en tres pasturas de la Amazonía centro norte

Variables	Pastura		
	Dallis	**Marandú**	**Saboya**
Altura de planta (cm)	78.77 ± 1.90 b	84.90 ± 2.13 a	79.44 ± 1.77 b
Cobertura (%)	81.20 ± 1.13 a	81.55 ± 1.29 a	80.37 ± 1.04 a
Materia seca (kg/ha^{-1})	2018.54 ± 137.58 a	2187.68 ± 157.25 a	2143.28 ± 126.53 a
Proteína cruda (%)	9.77 ± 0.50 a	10.16 ± 0.57 a	9.34 ± 0.46 a

Letras iguales dentro de la misma fila indican no diferencia significativa (p>0.05)

4 Conclusiones

Las principales especies maderables dispersas encontrados en los potreros de la Amazonía centro norte fueron Laurel, Cedro, Pachaco y en los frutales Guayaba, Aguacate, Chonta de acuerdo a su abundancia, riqueza, abundancia y IVI. El DAP explicó el 96% de la variación del área basal, a medida que este se incrementó y las estructuras de las especies arbóreas no demostraron influir en la producción de materia seca, cobertura, proteína cruda de las 3 pasturas encontradas, debido a la baja cobertura arbórea (3,69 ± 0,67%) y al número de árboles dispersos en los potreros (5 a 7 árboles ha^{-1}), el impacto de la cobertura arbórea demostró que incide significativamente en el crecimiento de las plantas, demostrando que el cultivar Marandú tiene una mejor tolerancia a la sombra respecto al Dallis y Saboya.

Los ecosistemas ganaderos amazónicos del centro norte del Ecuador de acuerdo a los índices de biodiversidad estarían considerados como bajos, pero con una riqueza media de especies dispersas en potreros. El IVI permitió identificar las especie Laurel, Cedro, Pachaco y Guayaba con mayor peso ecológico superior al promedio (3,4%).

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a Junior Jiménez, Jinson Castillo, Edwin Chocho por su invaluable asistencia en el campo Al Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) por la ejecución de esta investigación en el marco del Proyecto "Mejoramiento de la productividad en áreas críticas de la Costa, Sierra y Amazonía" financiado por la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT).

Referencias

Beer, J, C Harvey, M Ibrahim, J. M Harmand, E Somarriba y F. Jiménez. 2003. "Servicios ambientales de los sistemas agroforestales." *Agroforestería en las Américas* 10(37–38):80–87. Disponible en: https://goo.gl/rJJda4.

Betancourt, K, M Ibrahim, C Harvey y Vargas B. 2003. "Efecto de la cobertura arbórea sobre el comportamiento animal en fincas ganaderas de doble propósito en Matiguás, Matagalpa, Nicaragua." *Agroforestería en las Américas* 10(39–40):47–51. Disponioble en: https://goo.gl/K6149R.

Caicedo, W, N Criollo, A Vera, L Riera, J Grijalva, R Ramos y C. Congo. 2017. *Evaluación preliminar*

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

de sistemas silvopastoriles como alternativa de la producción ganadera en la Amazonía ecuatoriana. Agroforestería sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Disponible en: https://goo.gl/tveSMA pp. 91–98.

Camargo, J. C, M Ibrahim, E Somarriba, B Finegan y D. Current. 2000. "Factores ecológicos y socioeconómicos que influyen en la regeneración natural de laurel en sistemas silvopastoriles del trópico húmedo y subhúmedo de Costa Rica." *Agroforestería en las Américas* 7(26):46–49. Disponible en: https://goo.gl/Rh6Luq.

Campo, A. M y V. S. Duval. 2014. "Diversidad y valor de importancia para la conservación de la vegetación natural. Parque Nacional Lihué Calel (Argentina)." *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 34(2):25–42. Disponible en: https://goo.gl/xWtMMn.

Carvalho, M. M. 1997. "Asociaciones de pasturas con árboles en la región centro del sur de Brasil." *Agroforestería en las Américas* 4(15. Disponible en: https://goo.gl/UJzBne).

Casasola Coto, F. 2000. Productividad de los sistemas Silvopastoriles Tradicionales en Moropotente, Estelí, Nicaragua. Master's thesis Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. Disponible en: https://goo.gl/5qDVPQ.

Criollo Rojas, N. J. 2013. Evaluación de alternativas silvopastoriles que promuevan la intensificación y recuperación de pasturas degradadas y contribuyan a reducir el impacto ambiental de la actividad ganadera en la amazonía ecuatoriana al segundo año de establecimiento. In *Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador*. Vol. Disponible en: https://goo.gl/NihpcD.

Del Río, M, F Montes, I Cañellas y G. Montero. 2003. "Revisión: Índices de diversidad estructural en masas forestales." *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales* 12(1):159–176. Disponioble en: https://goo.gl/8CXsCk.

Di Rienzo, J. A, F Casanoves, M. G Balzarini, L González, M Tablada y C. W. Robledo. 2016. *InfoStat versión 2016.* Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Disponible en: https://goo.gl/YPxHzZ.

Esquivel, H, M Ibrahim, C. A Harvey, C Villanueva, T Benjamin y F. Sinclair. 2003. "Árboles dispersos en potreros de fincas ganaderas en un ecosistema seco de Costa Rica." *Agroforestería en las Américas* 10(39–40):24–29. Disponible en: https://goo.gl/pj2Ph7.

GADMCJS. 2015. Resumen ejecutivo del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. La Joya de los Sachas, Ecuador. In *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal La Joya de los Sachas*.

GADMFO. 2014. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Francisco de Orellana, Ecuador. In *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Francisco de Orellana*.

GADPRE. 2015. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Enokanqui, La Joya de los Sachas, Ecuador. In *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Enokanqui*.

GADPRLB. 2015. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Enokanqui, La Joya de los Sachas, Ecuador. In *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Enokanqui*.

Grijalva, J. 2012. *Situación de los Recursos Genéticos Forestales. Informe País Ecuador*. Preparado por el Programa Nacional de Forestería del INIAP con aval del INIAP/FAO/MAE/MAGAP/MMRREE. Documento sometido a la Comisión Forestal de la FAO-Roma, para preparación del Primer Informe sobre el Estado de los Recursos Genéticos Forestales en el Mundo. 95 p.

Lamprecht, H. 1962. "Ensayo sobre unos métodos para el análisis estructural de los bosques tropicales." *Acta Científica Venezolana* 13(2):57–65. Disponible en: https://goo.gl/E3pYj2.

Lombo Ortíz, D. F. 2012. Evaluación de la disponibilidad de biomasa y capacidad de rebrote de leñosas forrajeras en potreros del trópico seco de Nicaragua. Master's thesis Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. Disponible en: https://goo.gl/C5QSPj.

MAGAP. 2014. Proyecto agenda de transformación productiva amazónica - reconversión agroproductiva sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. In *Ministerio de Agricultura y Ganadería, Ecuador.*

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Martella, M. B, E. V Trumper, L. M Bellis, D Renison, P. F Giordano, G Bazzano y R. M. Gleiser. 2012. "Manual de Ecología. Evaluación de la biodiversidad." *Reduca (Biología). Serie Ecología* 5(1):71–115. Disponible en: https://goo.gl/VPptCq.

Nieto, C y C. Caicedo. 2012. Análisis reflexivo sobre el desarrollo agropecuario sostenible en la amazonía ecuatoriana. In *Ecuador: INIAP, Estación Experimental Central de la Amazonia. (Publicación Miscelánea no. 405). Disponible en: https://goo.gl/co89yJ*.

Ochoa, D y J. Valarezo. 2014. "Caracterización y análisis de rentabilidad de los sistemas de producción ganaderos presentes en el cantón Yantzaza, Ecuador." *CEDAMAZ* 4(1):76–85. Disponible en: https://goo.gl/enVhwi.

Paredes, N y C Subía. 2014. *Valoración de los servicios ambientales en fincas diversificadas con sistemas agroforestales de alto potencial*. Agroforestería sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Disponible en: https://goo.gl/tveSMA pp. 73–90.

Presidencia de la República del Ecuador. 2007. Registro oficial N° 18 - jueves 08 de febrero del 2007. In *Dado en el Palacio Nacional al 25 de noviembre del 2009. Quito, EC.*

Restrepo, S. 2002. Relaciones entre la cobertura arbórea en potreros y la producción bovina en fincas ganaderas en trópico seco en Cañas, Costa Rica. Master's thesis Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Costa Rica. Disponible en: https://goo.gl/SPqrqG.

Simpson, E. H. 1949. "Measurement of Diversity." *Nature, International journal of science* 163, 688.: doi: https://www.dx.doi.org/10.1038/163688a0.

Stiling, P. D. 1996. *Ecology; Theories and Applications*. Prentice Hall series in the life sciences. Disponible en: https://goo.gl/14Efdm.

Subía, C, N Paredes, W Caicedo, F Fernández, A Díaz, F Bastidas y J. Chávez. 2017. *Análisis socioproductivo de los sistemas de producción agropecuaria en la zona norte y centro de la Amazonía Ecuatoriana*. Agroforestería sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Disponible en: https://goo.gl/tveSMA pp. 49–58.

Tobar López, D y M. Ibrahim. 2008. "Valor de los sistemas silvopastoriles para conservar la biodiversidad en fincas y paisajes ganaderos en América Central." Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica. Disponible en: https://goo.gl/326cRe.

Trujillo, L. A, Y. K Cuellar, D. Y Huaca, J. E Velásquez y J. C. Suarez. 2012. "Caracterización de árboles dispersos en potreros y su efecto en la cobertura herbácea en pasturas del piedemonte amazónico colombiano." *Revista Momentos de Ciencia* 9(1):50–58. Disponible en: https://goo.gl/u6sqSQ.

Vargas, Y, P Jaramillo, Y Sánchez y D. Sotomayor. 2014. *Valoración socio-productiva de fincas diversificadas con sistemas agroforestales de alto potencial.* Agroforestería sostenible en la Amazonía Ecuatoriana. Disponible en: https://goo.gl/tveSMA pp. 59–72.

Villacis, J y C. Chiriboga. 2016. "Relaciones entre las variables socioeconómicas y la cobertura arbórea de fincas ganaderas del trópico húmedo del Ecuador." *Revista Cubana de Ciencias Forestales* 4(2):149–163. Disponible en: https://goo.gl/8DMqtH.

Villanueva Najarro, C, D Tobar López, M Ibrahim, F Casasola Coto, J Barrantes y R. Arguedas. 2013. "Árboles dispersos en potreros en fincas ganaderas del Pacífico Central de Costa Rica." *Agroforestería en las Américas* (45):12–20. Disponible en: https://goo.gl/J9Kw5R.

Villavicencio Enríquez, L y J. Valdez Hernández. 2003. "Análisis de la estructura arbórea del sistema agroforestal rusticano de café en san miguel, Veracruz, México." *Agrociencia* 37(4):413–423. Disponible en: https://goo.gl/eFojC7.

Virginio Filho, E, C Caicedo y C. Astorga. 2014. *Agroforestería sostenible en la Amazonía ecuatoriana. Serie técnica N 398*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE) y Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Disponible en: https://goo.gl/tveSMA.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granjA:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.06

Artículo científico / Scientific paper

Ecología Forestal

ABYA YALA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Población de macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera:análisis preliminar

Macrofauna population in silvopastoral systems for milk production: preliminary analysis

Diego Marcelo Caicedo Rosero[1], Hernán Rigoberto Benavides Rosales[1], Luis Alfredo Carvajal Pérez[1], Jessica Paola Ortega Hernández[1]

[1] *Universidad Politécnica Estatal del Carchi, Telf. 06 2 224 079, Calle Antisana y Av. Universitaria, Tulcán, Ecuador.*

*Autor para correspondencia: diego.caicedo@upec.edu.ec

Manuscrito enviado el 4 de abril de 2017. Aceptado, tras revisión, el 20 de noviembre de 2017. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

En esta investigación se presenta un estudio preliminar de la macrofauna en suelos silvopastoriles dedicados a la producción de leche, cuyo objetivo es analizar las poblaciones de biota del suelo en sistemas silvopastoriles con las siguientes combinaciones: aliso (*Alnus acuminata*) y mezcla forrajera, acacia (*Acacia melanoxylon*) y mezcla forrajera, y un testigo solo con mezcla forrajera. En una primera etapa se realizaron 30 muestras en cada población muestral, en los meses de baja precipitación, cada muestra es un cuadrante de 30 cm $\times$ 30 cm $\times$ 30 cm, en el cual se contabilizó la biota existente. Los datos de las poblaciones se analizaron usando los índices de biodiversidad como riqueza de Margalef, índice de dominancia de Berger-Parker, el índice de dominancia de Simpson y el índice de biodiversidad de Shannon, datos que permitieron concluir que la variación en número de especies no es significativa entre poblaciones muestrales y la existencia de biota mantiene la productividad. Además, estos datos servirán en una segunda investigación para hacer comparaciones estadísticas del número de especies en meses de mayor y menor precipitación.
Palabras claves: Biota, comparación, índices de biodiversidad, Carchi, Ecuador.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

This research shows a preliminary study of macrofauna in silvopastoral soils for milk production, whose objective was to evaluate the soil's population biota in silvopastoral systems whit next combinations: aliso (*Alnus acuminata*) and fodder mixture, acacia (*Acacia melanoxylon*) and fodder mixture, and control only fodder mixture. In first stage, 30 samples were collected in each population sample, in months with less precipitation, each sample, is one square of 30 cm $\times$ 30 cm $\times$ 30 cm, in which counted the existing biota. Population data was analyzed using biodiversity index like Margalef index of species richness, Berger Parker index of dominance, Simpson's dominance index and Shannon diversity index, data which permitted conclude the variation in species number is not significant in population samples and existing biota maintains the productivity. Also, those values will use in a second research to make statistical comparisons in the number of species in months with more and less precipitation.
Keywords: Biota, biodiversity index, comparison, Carchi, Ecuador.

Forma sugerida de citar: Caicedo Rosero, D. M., Benavides Rosales, H. R., Carvajal Pérez, L. A., Ortega Hernández, J. P. 2018. Población de macrofauna en sistemas silvopastoriles dedicados a la producción lechera:análisis preliminar. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):77-85. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.06.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

De acuerdo con la investigación preliminar (Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio, 2014) realizada a los muestreos en los sistemas silvopastoriles de la Finca "San Vicente", parroquia "El Carmelo" provincia del Carchi, se deduce que la productividad de los sistemas silvopastoriles depende de las condiciones climáticas, edáficas y de la presencia de fauna de suelo, esto a su vez influye en la productividad del hato lechero.

En esta investigación se realiza un análisis específico sobre la biota del suelo en función de índices de biodiversidad alfa (Lazo *et al*., 2007); el objetivo es medir los niveles de producción en los sistemas silvopastoriles, comparando la eficiencia simbiótica de fauna edáfica en pastos con alisos, pastos con acacias y un testigo solo de pastos.

Tal como manifiesta Jordán López (2005–2006) la biota del suelo es importante, ya que de su presencia depende la fertilidad y estabilidad del mismo, lleva a cabo la fragmentación de residuos orgánicos, permite la degradación de los compuestos orgánicos a moléculas más sencillas, actúa sobre la porosidad del suelo, facilita la agregación de partículas del suelo a través de las excreciones e interviene en la humificación de la materia orgánica.

Los análisis realizados en el sitio de estudio sirvieron para identificar la variación en el número poblacional de las especies entre los sistemas silvopastoriles de acuerdo a las mejores relaciones simbióticas entre pastos y árboles.

En este tipo de estudio los índices de biodiversidad se constituyen en herramientas para analizar el equilibrio ecológico entre las especies presentes en los ecosistemas, lo que permite a su vez, demostrar la variación en la calidad de los hábitats (Thevathasan *et al*., 2014).

El número de especies es la medida más utilizada para los análisis de biodiversidad, porque la riqueza de especies refleja aspectos de la biota, las especies son de fácil identificación y contabilización, y, aunque no se tenga un conocimiento taxonómico completo (especialmente para taxones como, insectos y otros invertebrados) es suficiente tener la disponibilidad bibliográfica sobre especies (Moreno, 2001).

2 Materiales y métodos

En base a la información tomada del Sistema de Posicionamiento Global (GPS), la zona de estudio se encuentra en la Finca "San Vicente", parroquia "El Carmelo" provincia del Carchi, localizada en las coordenadas UTM: Lat N 210000, y Long. 10072464. El clima es ecuatorial de alta montaña, con una precipitación entre 1 200 y 2 000 mm, con un rango de temperatura de 10 °C a 12°C (Estación meteorológica El Carmelo). Conforme a los análisis de suelos, éstos pertenecen al orden inceptisoles con alto contenido de materia orgánica, van de profundos a superficiales bien drenados, buena retención de humedad, textura franco-arenosa, color en húmedo negro, raíces abundantes por la presencia de pastos, pH 6.5, material parental proveniente de cenizas y arenas volcánicas, encontrados en un relieve ondulado y con pendientes que varían entre un 20% a 25%.

El objetivo de esta investigación es un análisis descriptivo que permita comparar la abundancia de fauna edáfica en sistemas silvopastoriles, este análisis se lo debe hacer dos veces por año, para observar el proceso evolutivo de la biota del suelo. La primera colecta de muestras se realizó en el mes de julio 2016, cuyos datos servirán para las comparaciones de las colectas futuras.Las especies arbóreas del sistema silvopastoril, que se encuentran en desarrollo, se distribuyen en franjas siguiendo las curvas de nivel (Sánchez Matta *et al*., 2009) y con un ancho de 10 metros (Ver Figura 1).

La contabilización de la biota se realizó entre las franjas, en cuadrantes de 30 cm de largo, 30 cm de ancho y 30 cm de profundidad, con un total de 30 muestras por cada población muestral. La biota fue colectada y luego identificada en laboratorio a nivel de órdenes, con el apoyo de especialistas y de bibliografía especializada. En cada población muestral se realizó: cálculo de abundancia relativa, índice de riqueza de Margalef, índice de dominancia de Berger-Parker, índice de dominancia de Simpson e índice de biodiversidad de Shannon, seleccionados por ser cuantificables y útiles para el análisis de diversidad alfa de las especies (Chiquin Baños y Velecela Caiza, 2015).

Índice de abundancia relativa

$$AR = \frac{Número\ de\ individuos\ de\ una\ especie}{Total\ de\ individuos\ de\ todas\ las\ especies} \times 100 \quad (1)$$

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Figura 1. Distribución de las especies arbóreas en franjas en cada población muestral

En donde:

AR = Abundancia relativa

Índice de riqueza de Margalef

$$D = \frac{S-1}{ln\, N} \quad (2)$$

En donde:

D = Índice de Margalef
S = Número de especies
ln = logaritmo natural
N = Número total de individuos

Índice de Berge – Parker

$$B = \frac{N_{máx}}{N} \quad (3)$$

En donde:

B = Índice de Berger - Parker
Nmáx = Número de individuos del taxón más abundante.
N = Número total de individuos de la muestra.

Índice de diversidad de Simpson

$$D_s = \frac{n(n-1)}{N(N-1)} \quad (4)$$

En donde:

Ds = Diversidad de Simpson.
n = Número de individuos de la especie.
N = Total de individuos.

Debido a que Ds y la diversidad están negativamente relacionadas, el índice de Simpson se expone como el recíproco o complemento (1- D), de tal forma que, si el índice aumenta, la diversidad también aumenta.

Índice de diversidad de Shannon - Wiener

$$H = -\sum_{i=1}^{s} p_i \times ln\ p_i \quad (5)$$

En donde:

H = Índice de Shannon.
pi= proporción de especies.
S= número de especies (riqueza de especies).
ln = Logaritmo natural.

Tales índices sirven para calcular la diversidad alfa, aplicables a zonas con riqueza de especies consideradas homogéneas (Moreno, 2001), en la zona de estudio con características similares de altitud, climáticas y edáficas.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3 Resultados y discusión

Índice de abundancia relativa

Corresponde al número total de individuos de una especie expresada como una proporción del número total de individuos de todas las especies (Moreno, 2001).

De acuerdo a los datos presentados en las Tablas 1, 2 y 3 se identifica en las tres poblaciones muestrales, que el taxón de mayor proporción es *Haplotaxida* (lombrices de tierra), su presencia en el nivel trófico de consumidor primario aporta al rompimiento del material vegetal e incorporación de nutrientes, además de influir en los procesos de aireación y remoción de suelo (Adi-Saab Arrieche, 2012).

Es relevante el taxón *Haplotaxida*, para evaluar las perturbaciones ambientales y las medidas a tomar en cuenta en dicho suelo. Identificar cambios en la diversidad, número, distribución de las especies o la dominancia, alertan acerca de procesos empobrecedores Magurran (2004), que no es el caso de la zona de estudio, ya que los resultados analizados muestran números adecuados en el taxón *Haplotaxida*.

Tabla 1. Abundancia relativa de la población muestral de Aliso (*Alnus acuminata*) y mezcla forrajera

N°	Orden Taxonómico	Nombre común	Cantidad	Abundancia Relativa (%)
1	*Haplotaxida*	Lombrices de tierra	396	76,89
2	*Pulmonata*	Babosas	48	9,32
3	*Geophilomorpha*	Ciempiés	1	0,19
4	*Araneae*	Arañas	21	4,08
5	*Coleopteros*	Escarabajos	18	3,5
6	*Dermaptera*	Tijeretas	1	0,19
7	*Diptera*	Moscas, sancudos	23	4,47
8	*Lepidoptera*	Mariposas y orugas	3	0,58
9	*Orthoptera*	Saltamontes	4	0,78
		TOTAL	515	100

Tabla 2. Abundancia relativa de la población muestral de Acacia (*Acacia melanoxilon*) y mezcla forrajera

N°	Orden Taxonómico	Nombre común	Cantidad	Abundancia Relativa (%)
1	*Haplotaxida*	Lombrices de tierra	372	66,55
2	*Pulmonata*	Babosas	17	3,04
3	*Geophilomorpha*	Ciempiés	2	0,36
4	*Araneae*	Arañas	47	8,41
5	*Coleopteros*	Escarabajos	61	10,91
6	*Diptera*	Moscas, sancudos	48	8,59
7	*Lepidoptera*	Mariposas y orugas	2	0,36
8	*Orthoptera*	Saltamontes	7	1,25
9	*Hemipteros*	Chinches y pulgones	3	0,54
		TOTAL	559	100

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 3. Abundancia relativa de la población muestral de Testigo mezcla forrajera

N°	Orden Taxonómico	Nombre común	Cantidad	Abundancia Relativa (%)
1	*Haplotaxida*	Lombrices de tierra	449	77,15
2	*Pulmonata*	Babosas	15	2,58
3	*Isopoda*	Cochinillas	1	0,17
4	*Araneae*	Arañas	23	3,95
5	*Coleopteros*	Escarabajos	45	7,73
6	*Diptera*	Moscas, sancudos	34	5,84
7	*Lepidoptera*	Mariposas y orugas	3	0,52
8	*Orthoptera*	Saltamontes	7	1,2
9	*Hemipteros*	Chinches y pulgones	3	0,52
10	*Hymenoptera*	Abejas y avispas	2	0,34
		TOTAL	582	100

Índice de riqueza de Margalef

Se obtiene al conocer el número total de especies, en relación a total de los individuos de las especies presentes dentro de la muestra (Moreno, 2001), (ver Tabla 4).

Tabla 4. Índice de riqueza de Margalef

Población muestral	Índice
Aliso (*Alnus acuminata*) y mezcla forrajera	1,2812
Acacia (*Acacia melanoxilon*) y mezcla forrajera	1,2645
Mezcla forrajera	1,4136

El mínimo valor que puede adoptar es cero, y ocurre cuando solo existe una especie en la muestra (s=1, por lo que s-1=0). Valores bajos hacen referencia a ecosistemas con poca biodiversidad en relación a valores altos que son sitios con mayor presencia de especies.

Cabe anotar que los sitios de muestreo tienen el fin de pastoreo para producción de leche, por lo que es considerado como pecuario. Se puede observar la menor riqueza de especies en la población muestral acacia-pasto.

Índice de Berger - Parker

Este índice mide la dominancia de la especie más abundante, tal como menciona (Moreno, 2001), (ver Tabla 5).

Tabla 5. Índice de riqueza de Berger - Parker

Población muestral	Índice
Aliso (*Alnus acuminata*) y mezcla forrajera	0.769
Acacia (*Acacia melanoxilon*) y mezcla forrajera	0.665
Mezcla forrajera	0.771

Este índice adquiere valores comprendidos entre 0 y 1 (0% y 100%). En la población muestral, el mayor índice se localiza en el testigo, es decir que existe más equidad en las poblaciones, pero con una disminución de la dominancia Moreno (2001).

Índice de diversidad de Simpson

Según Franco López (1985), este índice permite estimar la probabilidad de que dos individuos elegidos al azar en una comunidad provengan de diferentes especies, (ver Tabla 6).

Tabla 6. Índice de diversidad de Simpson

Población muestral	Índice
Aliso (*Alnus acuminata*) y mezcla forrajera	0,396
Acacia (*Acacia melanoxilon*) y mezcla forrajera	0,531
Mezcla forrajera	0,394

De acuerdo al resultado del índice de Simpson se deduce que en la población muestral de acacia con mezcla forrajera se podrían encontrar, con mayor probabilidad, a los individuos de la misma especie en extracciones distintas.

Índice de diversidad de Shannon - Wiener

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

De acuerdo a Moreno (2001), este índice asume que los individuos son seleccionados al azar y que todas las especies están representadas en la muestra , (ver Tabla 7).

Tabla 7. Índice de diversidad de Shannon - Wiener

Población muestral	Índice
Aliso (*Alnus acuminata*) y mezcla forrajera	0,902
Acacia (*Acacia melanoxilon*) y mezcla forrajera	1,161
Mezcla forrajera	0,924

Como indica Moreno (2001), este índice puede variar entre cero (cuando existe una sola especie) y el logaritmo de *S* (cuando las especies están representadas por el mismo número de individuos), identificando de esta manera en los resultados del índice de Shannon-Wiener que la población muestral con mayor valor de diversidad se encuentra en la parcela de acacia con la mezcla forrajera.

Hay que considerar que la población muestral tiene el objetivo de pastoreo y las especies vegetales dominantes son los pastos, lo que influye en la poca presencia de especies de fauna edáfica, de ahí que los valores en conjunto denotan bajos índices en las tres poblaciones muestrales. El resultado del índice de Shannon se puede contrastar con aquellos ecosistemas muy biodiversos los mismos que pueden llegar a tener valores cercanos a cinco.

Dado que las condiciones climáticas influyen en el desarrollo de las plantas, que a su vez determinan el crecimiento de la fauna, los cambios en el número de especies pueden variar de una época a otra respecto a temperatura y precipitación. Según menciona Lazo *et al*. (2007) el número de individuos de artrópodos es diferente en periodos de distinta precipitación, es necesario precisar entonces que para el caso de la finca "San Vicente", la contabilización se la realizó en los meses de menor precipitación y los resultados del conteo son de una primera etapa, a futuro se realizarán mediciones que permitan comparar el número de especies con meses de mayor precipitación en distintas épocas del año.

El análisis de índices bióticos en la finca "San Vicente" se basó en la diversidad alfa, ya que el sitio de estudio se lo considera homogéneo porque presenta las mismas condiciones edáficas, climáticas, altitud, y con sistemas silvopastoriles, en concordancia con lo expuesto por Whitaker (1972) la diversidad alfa es una comunidad homogénea, la diversidad beta es un grado de cambio entre diferentes comunidades en un paisaje, y la diversidad gamma es la riqueza de especies del conjunto de comunidades que integran un paisaje, resultante de las diversidades alfa y beta.

Debido a que los números poblacionales son variables en cada unidad geográfica, en cada paisaje, los análisis de biodiversidad son útiles para comprender la evolución del crecimiento de especies en función de perturbaciones ambientales o la influencia de las actividades humanas sobre ellas, es así que se usó los índices de biodiversidad para analizar si hay cambios significativos entre poblaciones muestrales, pudiendo comprobar que no hay cambios significantes entre ellos, aun cuando las especies arbóreas están en crecimiento.

La zona de estudio posee pastizales con árboles que están en desarrollo, además, por las condiciones climáticas y de cobertura vegetal la mayoría de la biota contabilizada se encuentra en sombra en el sistema radicular de los pastos, por su parte Vega (2014) manifiesta que la mayor presencia de oligoquetos e insectos se encuentra en suelos con pastizales, cuyo mayor porcentaje pertenecen a los oligoquetos, aun tomando en cuenta las diferencias de altitud que existen entre las dos zonas de estudio.

Desde otro enfoque Hernández Chávez, Sánchez Cárdenas y Simón Guelmes (2008) señalan que la presencia de árboles crea un microclima acorde a las exigencias de los organismos. En tal sentido en la zona de análisis la presencia de la cobertura vegetal con mezcla forrajera en la zona de estudio, se convierte en el hábitat propicio para la biota del suelo, y la presencia de los alisos y acacias favorece la formación de microclimas para la fauna edáfica, así se puede observar en los datos la presencia de fauna edáfica, y que los valores varían escasamente entre poblaciones muestrales, teniendo mayor presencia de biota en el sistema de alisos con mezcla forrajera, le sigue en número el testigo, y con menor número el población muestral de acacia con mezcla forrajera, haciendo notar que existe retención de humedad distinta en las poblaciones muestrales por la topografía que puede incidir en la mayor o menor presencia de biota edáfica, tal como muestra la Figura 2.

Además, la presencia de materia orgánica es importante para la productividad, y la biota del suelo es justamente quien la aporta (Argel, 2006), se mantienen las condiciones óptimas del hábitat de las especies que aportan con la descomposición de restos vegetales, y a su vez, aportan al mejoramiento simbiótico con otras especies, incluso bacterias. En este

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

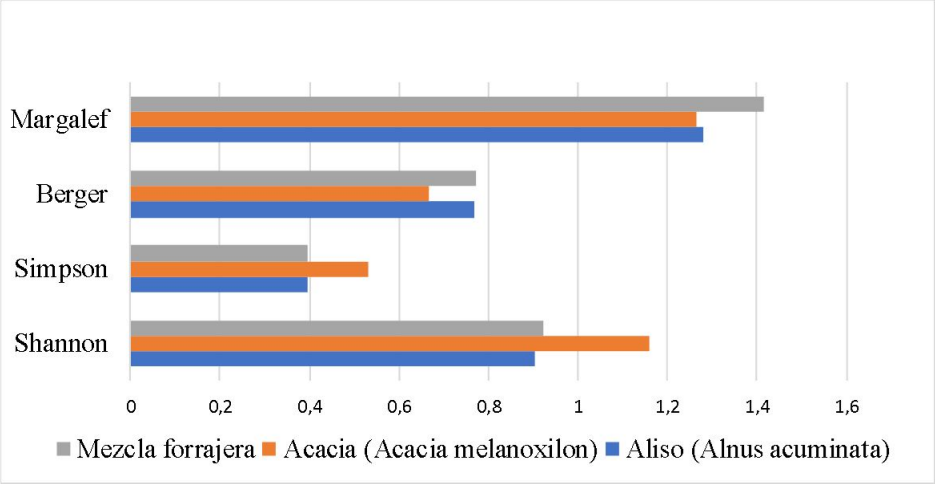


Figura 2. Índices bióticos en las muestras poblacionales

mismo tema, a criterio de Simón *et al*. (2005) el follaje de árboles leguminosos es una alternativa para el manejo de la fauna edáfica, la misma que es importante en los procesos de descomposición vegetal, degradación de celulosa, lignina y transformación en material húmico. Se deduce entonces que, a través del tiempo, la productividad del suelo de la zona de estudio se ha mantenido por la presencia de materia orgánica aportada por la biota edáfica.

En la zona de estudio el manejo del sistema silvopastoril garantiza las condiciones de vida de los organismos, su presencia es un indicador del ambiente óptimo del sistema, además, entre las tres poblaciones muestrales no existe una variación dilatada en el número de especies, lo que se puede deducir que la asociación de mezcla forrajera con árboles si aporta a las condiciones de vida de la fauna edáfica, los sistemas silvopastoriles propician la presencia de hábitats para insectos, se forman microclimas, y establecen interacciones equilibradas entre fitófagos, biorreguladores y microorganismos (Milera, 2013). En la investigación se realizó un análisis descriptivo propio de la investigación, sin recurrir a análisis estadísticos que midan la presencia de biodiversidad.

Finalmente, Cabrera (2012), reconoce como indicador de valoración del estado del suelo al comportamiento de poblaciones de la macrofauna edáfica, a través de su riqueza de especies. Se puede señalar entonces, que la fauna edáfica es un indicador de la calidad de los suelos y en la zona de estudio la presencia de la biota indica que los sistemas silvopastoriles están en buenas condiciones en las tres poblaciones muestrales, favoreciendo la productividad y las relaciones simbióticas entre las especies.

4 Conclusiones

Las aplicaciones de índices de biodiversidad permiten el análisis sobre el número de las poblaciones y sus especies, siendo herramientas útiles para observar los niveles de perturbación ambiental. Por otro lado, existe poca variabilidad en los índices de biodiversidad en las tres poblaciones muestrales, lo que denota uniformidad en las condiciones ambientales y edáficas, tomando en cuenta que las especies arbóreas aún están en crecimiento. Se identifica, además, que las condiciones físicas y químicas de las poblaciones muestrales se encuentran dentro de los parámetros deseados y la cantidad de fauna edáfica varía escasamente en espacio. De igual manera, la presencia de la fauna edáfica favorece los procesos de aireación, remoción de suelo e incorporación de nutrientes, mejorando la productividad de los suelos silvopastoriles. En consecuencia, es recomendable que la aplicación de los índices de biodiversidad se replique en otros sistemas silvopastoriles andinos, con el fin de realizar comparaciones futuras respecto a variaciones poblacionales. Así mismo, se debe mantener las condiciones actuales de los sistemas silvopastoriles para que se conserven las poblaciones de fauna de suelo, que permitan un monitoreo futuro sobre la evolución de comunidades edáficas. Finalmente, es necesario involucrar a

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

docentes y estudiantes de niveles superiores en tareas de muestreo y contabilización de especies que aporten al análisis de condiciones ambientales y de la fauna edáfica.

Referencias

Adi-Saab Arrieche, R. 2012. Evaluación de la calidad del suelo, en el sistema productivo orgánico la Estancia, Madrid, Cundinamarca, 2012. Utilizando indicadores de calidad de suelos. In *Tesis de grado*. Pontificia Universidad Javeriana. [en línea] disponible en: https://goo.gl/3rX653.

Argel, P. J. 2006. "Contribución de los forrajes mejorados a la productividad ganadera en sistemas de doble propósito." *Archivos Latinoamericanos de Producción Animal*. 14(2):65–72. [en línea] disponible en: https://goo.gl/jBYmXo.

Cabrera, G. 2012. "La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba." *Pastos y Forrajes* 35(4):346–363. [en línea] disponible en: https://goo.gl/wnKYkC.

Chiquin Baños, M. G y D. C. Velecela Caiza. 2015. Estudio de la diversidad florística y características del suelo dentro de un proceso de restauración activa luego de un período de lluvia, en la zona de influencia del "Cerro Puntas" nororiente de Quito. In *Tesis de grado*. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/PbcoE2.

Franco López, J. 1985. *Manual de Ecología*. Cornell University. Trillas. [en línea] disponible en: https://goo.gl/kwLqb8.

Hernández Chávez, M, S Sánchez Cárdenas y L. Simón Guelmes. 2008. "Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica." *Zootecnia Tropical* 26(3):319–321. [en línea] disponible en: https://goo.gl/v14mFq.

Hernández Sampieri, R, C Fernández Collado y P. Baptista Lucio. 2014. *Metodología de la Investigación*. 6^{ta} ed. Mc Graw Hill Education. [en línea] disponible en: https://goo.gl/du8h5N.

Jordán López, A. 2005–2006. *Manual de Edafología*. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. [en línea] disponible en: https://goo.gl/1GyFk8.

Lazo, J. A, N. V Valdés, R. A Sampaio y G. L. D. Leite. 2007. "Diversidad zoológica asociada a un silvopastoreo leucaena-guinea con diferentes edades de establecimiento." *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(12):1667–1674. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.1590/S0100--204X2007001200001.

Magurran, A. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Science Ltd. [en línea] disponible en: https://goo.gl/3SBycP.

Milera, M. 2013. "Contribución de los sistemas silvopastoriles en la producción y el medio ambiente." *Avances en Investigación Agropecuaria* 17(3):7–24. [en línea] disponible en: https://goo.gl/KyjnPW.

Moreno, C. E. 2001. *Métodos para medir la biodiversidad*. M & T – Manuales y Tesis SEA, vol. 1. CYTED, ORCYT – UNESCO, Sociedad Entomológica Aragoneza (SEA). [en línea] disponible en: https://goo.gl/phCgPk.

Sánchez Matta, L, G. M Amado Saavedra, P. J Criollo Campos, T Carvajal Salcedo, J Roa Triana, A Cuesta Peralta, A Conde Pulgarín, A Uma' na Arboleda, Luz M Bernal y L. Barreto de Escovar. 2009. *El Aliso (Alnus acuminata H.B.K.) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano*. Corpoica. [en línea] disponible en: https://goo.gl/zAJ6Vj.

Simón, L, M Hernández, F Reyes y S. Sánchez. 2005. "Efecto de las leguminosas arbóreas en el suelo y en la productividad de los cultivos acompañantes." *Pastos y Forrajes* 28(1):29–45. Corpoica. [en línea] disponible en: https://goo.gl/5eymYw.

Thevathasan, N, A Gordon, J Simpson, X Peng, S Silim, R Soolanayakanahally y H de Gooijer. 2014. "Sustainability Indicators of Biomass Production in Agroforestry Systems." *The Open Agriculture Journal* 8:1–11. Corpoica. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.2174/1874331501408010001.

Vega, A. 2014. "Evaluación de la macrofauna edáfica en un sistema silvopastoril en el Valle del Cauto." *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 48(2):189–193. Corpoica. [en línea] disponible en: https://goo.gl/5th1sU.

Whitaker, R. H. 1972. "Evolution and Measurement of Species Diversity." *Taxon* 21(2/3):213–251. Corpoica. [en línea] doi: http://doi.org/10.2307/1218190.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.07

Artículo científico / Scientific paper

Agrometeorología y cambio climático

Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela

Tropical rainfall conditions in rainfed agriculture in Carabobo, Venezuela

Barlin Orlando Olivares

Investigador. Programa Iberoamericano de Doctores en Agroalimentación de la Universidad de Córdoba (UCO), Andalucía, España.

*Autor para correspondencia: barlinolivares@gmail.com

Manuscrito recibido el 4 de octubre de 2017. Aceptado, tras revisión el 5 de enero de 2018. Publicado el 1 de marzo de 2018

Resumen

La variabilidad y el cambio climático están teniendo fuertes repercusiones sobre diferentes variables meteorológicas; induciendo cambios en el patrón de precipitación que afecta directamente la disponibilidad hídrica en los agroecosistemas. Es por esta razón que el objetivo de este trabajo fue analizar la variabilidad interanual de la lluvia tropical y su influencia en la agricultura de secano de la cuenca del Lago de Valencia en Venezuela. Para esto se utilizaron los datos mensuales y anuales de precipitación (1969-1999) de ocho estaciones climatológicas. Posteriormente, se calcularon los estadísticos descriptivos básicos, se describió la evolución de la precipitación y por último, se calculó del rango percentil P90%-P10% como indicador de la variación de la amplitud de la serie. Los resultados establecen que existen cambios en el régimen interanual de la precipitación y, tras analizar las tendencias en la precipitación anual en las localidades Yuma Caserío, Colonia El Trompillo, Agua Blanca y Las Dos Bocas, existe reducción generalizada en la lluvia, estos cambios, afectarían negativamente la generación y la disponibilidad de humedad en las localidades agrícolas, las cuales dependen fuertemente del agua de lluvia. La vocación agrícola en las tierras bajas de la cuenca del lago de Valencia, las hacen muy vulnerables a los episodios secos persistentes, donde los cultivos de secano como sorgo industrial, maíz, hortalizas, frutas (musáceas) y cítricos merman sus rendimientos durante la ausencia prolongada de lluvias, lo que afecta al sector agrícola de la región.

Palabras claves: Estacionalidad, precipitación, tendencia, agrometeorología.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

Variability and climate change are having a strong impact on different meteorological variables; inducing changes in the precipitation pattern that directly affects water availability in agroecosystems. It is for this reason that the objective of this work was to analyze the interannual variability of tropical rainfall and its influence on rainfed agriculture of the Lake of Valencia basin in Venezuela. For this, the monthly and annual precipitation data (1969-1999) of eight climatological stations were used. Subsequently, the basic descriptive statistics were calculated, the evolution of the precipitation was described and finally, it was calculated from the P90% -10% percentile range as an indicator of the variation of the series amplitude. The results establish that there are changes in the interannual precipitation regime and, after analyzing trends in annual precipitation in Yuma Caserio, Colonia El Trompillo, Agua Blanca and Las Dos Bocas, there is a generalized reduction in rainfall, would negatively affect the generation and availability of moisture in agricultural locations, which depend heavily on rainwater. The agricultural vocation in the lowlands of the lake basin of Valencia makes it very vulnerable to persistent dry episodes, where rainfed crops such as industrial sorghum, maize, vegetables, fruits (musáceas) and citrus fruits diminish their yield during the absence prolonged rainfall, affecting the agricultural sector of the region.
Keywords: Seasonality, precipitation, tendency, agrometeorology.

Forma sugerida de citar: Olivares, B. O. 2018. Condiciones tropicales de la lluvia estacional en la agricultura de secano de Carabobo, Venezuela. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):86-102. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.07.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

Para la subsistencia del sector agrícola, que se enfrenta a crecientes riesgos climáticos, es fundamental la información oportuna y precisa sobre el tiempo, el clima y el agua. Las observaciones, las predicciones y los análisis realizados en investigaciones permiten a las comunidades agrícolas aumentar la producción pecuaria y el rendimiento de cultivos, planificar las temporadas de siembra y cosecha, y reducir las plagas o enfermedades (OMM, 2009; Olivares, 2009).

La agricultura tropical de secano desarrollada en el país, y específicamente la del estado Carabobo, es considerada como un negocio arriesgado, fundamentalmente por la influencia de la variabilidad intranual e interanual en la disponibilidad de agua de los cultivos y sobre la posibilidad de realizar labores agrícolas mecanizadas.

Las características tropicales de las zonas subhúmedas bajo estudio, están representadas por la precipitación superior a la evapotranspiración en parte del año e inferior en otros meses (déficit estacional más común y severo, el régimen de precipitación puede ser muy errático); cuyo ambiente dominante está caracterizado por presentar suelos de alta a moderada fertilidad, en donde se encuentra gran parte de la producción de hortalizas, maíz y caña de azúcar de la región central. Predominan las tierras de clase (I), con suelos profundos bien drenados y fáciles de trabajar, sin ninguna o ligeras restricciones para su uso (Comerma y Parede, 1978; Zinck, 2012).

Según las investigaciones desarrolladas por Martelo (2003); Guenni, Degryze y Alvarado (2008); Guevara, Guevara y García (2008); Lobo *et al*. (2010); Cortez *et al*. (2011); Olivares *et al*. (2012); Olivares, Caraballo y Torrealba (2013); Paredes *et al*. (2015), se establece que a mediados del mes de abril el desplazamiento al norte del anticiclón del Atlántico, permite el avance de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), estableciéndose sobre gran parte del país. La ZCIT permite señalar el inicio de la temporada lluviosa en Venezuela la cual se extiende hasta principios de noviembre. Con el retiro progresivo de la ZCIT al sur; fuera del territorio venezolano, y el aumento de la influencia del anticiclón del Atlántico sobre el país, se establece el inicio de la temporada seca, la cual se extiende hasta el mes de abril.

La lluvia es considerada como un proceso espacio-temporal dentro del sistema climático, ya que exhibe aspectos aleatorios tanto en el tiempo como en el espacio y cuya estructura de variabilidad pueden explorarse mediante técnicas estadísticas apropiadas (Pradere, 1999; Toledo y Hernández-Szczurek, 2003). Uno de los aspectos a considerar en los estudios de meteorología lo representa la evolución de la precipitación y el posible impacto que la variabilidad climática tenga en la misma, es por ello que la variabilidad de la lluvia tropical estacional reviste importancia como parámetro descriptivo de las series de observación y más cuando tiene implicaciones en la agricultura de secano.

El objetivo de esta investigación es estudiar y definir las principales características de los eventos de lluvia tropical estacional de importancia en la agricultura de secano, desarrollada en la cuenca del Lago de Valencia, estado Carabobo, Venezuela. En este sentido, la iniciativa de desarrollar investigaciones sobre la evolución probable del clima, la variabilidad de los elementos climáticos y la influencia en las actividades socioeconómicas, contribuyen a mejorar la producción y la sostenibilidad agrícola y, al mismo tiempo, la seguridad alimentaria de la nación.

2 Materiales y métodos

2.1 Área de estudio

En la zona de estudio, la región natural predominante es la depresión del Lago de Valencia, comprendiendo la Serranía del Litoral, del Interior y la Depresión de Valencia, la cual constituye tipos de paisajes de montañas y valles, con una superficie de 2 300 km^2 (MARN, 2005). Los valles que bordean el lago y el resto de paisajes geomorfológicos como planicies, colinas y montañas son producto de la interacción de un conjunto de ríos y la tectónica de la región (falla de La Victoria en sentido oeste-este) (Figura 1). Las pendientes son abruptas en las zonas montañosas alcanzando el 70 % y en la depresión, la pendiente oscila entre 1 y 5 % (INE, 2011).

El área de estudio presenta un clima Subhúmedo seco con precipitaciones anuales que oscilan entre los 921 mm y los 1 063 mm. El régimen de lluvias describe una distribución de tipo Unimodal con dos periodos definidos; una temporada lluviosa entre mayo a octubre, y una temporada seca entre noviembre y abril. las condiciones de altitud de la Depresión del Lago de Valencia (400-500 msnm) y su localización entre dos serranías, generan condiciones no tan frescas considerando el gradiente altotér-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

mico, más bien se mantienen con una disminución gradual lenta, y en general un poco cálida, registrándose en Valencia (478 msnm), una temperatura media anual de 24,6 °C (Hernández *et al*., 2017).

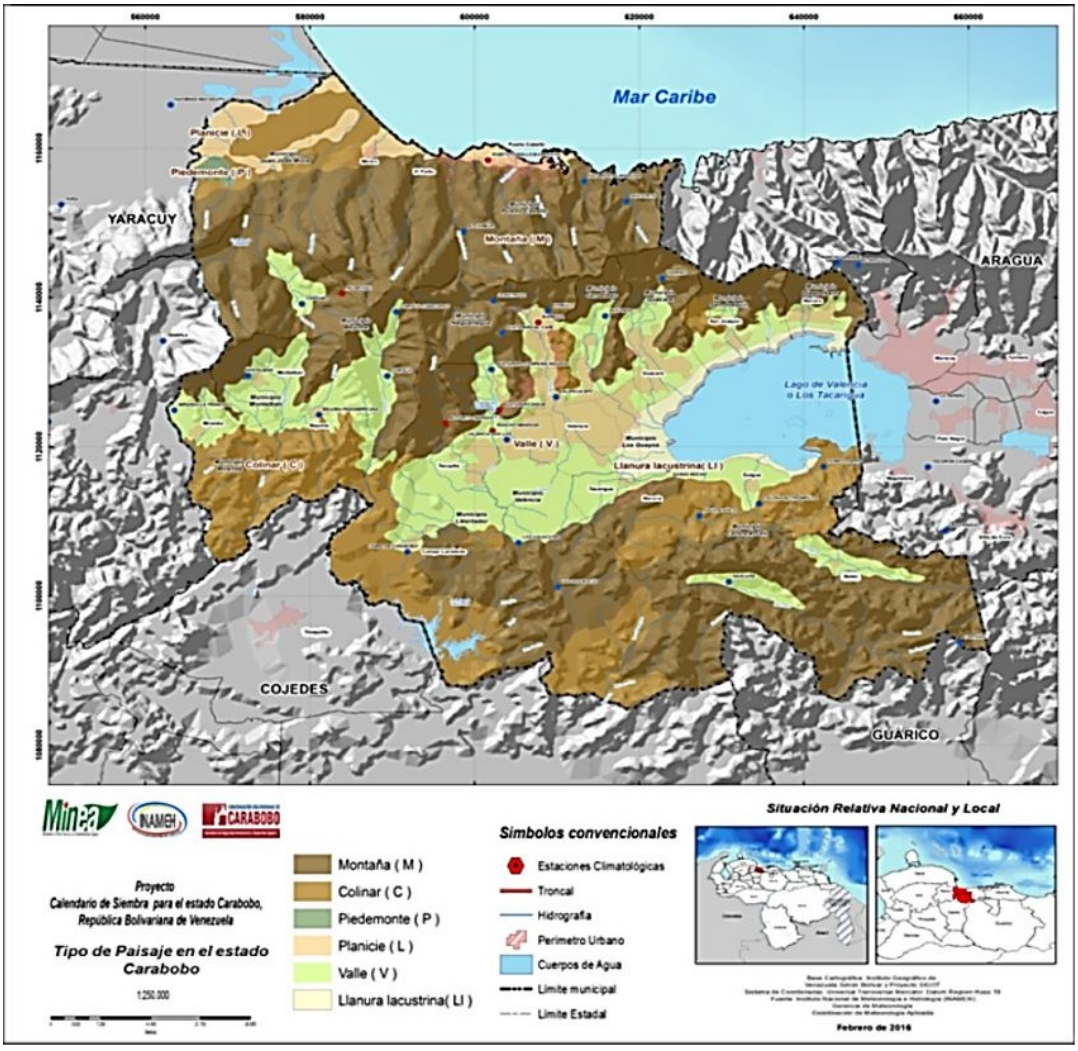


Figura 1. Tipo de Paisaje en el estado Carabobo, Venezuela (Hernández *et al*., 2017).

2.2 Datos de precipitación

Para este estudio se utilizaron los datos mensuales de precipitación (1969-1999) provenientes de ocho estaciones meteorológicas, ubicadas en la cuenca del Lago de Valencia, estado Carabobo (Tabla 1), los mismos fueron obtenidos del banco de datos de la Gerencia de Procesamiento y Calidad de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Venezuela.

La selección de este periodo de tiempo (1969-1999) se basó en la exactitud de las series que consistió en el carácter correcto de los datos, así como la validez referida a la aplicabilidad de los datos con la finalidad de establecer las tendencias de las series temporales. La decisión de no considerar el periodo actual de datos de precipitación estuvo asociada a que más del 33 % del total de las estaciones climatológicas presentaban periodos ininterrumpidos y extensos de datos faltantes dentro del registro histórico, adicionalmente existió una porción importante de estaciones que fueron desmanteladas en el transcurso de 2001-2010, por lo tanto no contaban con datos de lluvia a partir del año 2000.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 1. Descripción geográfica de las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del Lago de Valencia, estado Carabobo, Venezuela

Estación	Municipio	Paisaje	Norte	Este	Altitud (m.s.n.m)
Vigirima	Guacara	Montaña	1 142 558	622 845	557
San Diego	San Diego	Valle	1 137 558	615 956	460
Valencia-GFV	Valencia	Valle	1 126 726	609 967	460
Yuma-Caserio	Carlos Arvelo	Colinar	1 117 317	642 415	460
Colonia El Trompillo	Carlos Arvelo	Colinar	1 112 434	634 579	450
Agua Blanca	Carlos Arvelo	Colinar	1 110 749	627 339	515
Las Dos Bocas	Valencia	Montaña	1 101 292	610 166	550
Bárbula	Naguanagua	Montaña	1 136 672	607 806	493

Se realizó un control de calidad a los datos de precipitación mensual para definir la proporción de datos faltantes, identificar valores fuera de lo normal y observar el entendimiento básico de la distribución de las series (Parra y Cortez, 2005; Olivares *et al*., 2013; Guevara, 2003); utilizando los programas JMP v.6 (Jones y Sall, 2011), InfoStat v.11 (Di Rienzo *et al*., 2011) y Vesper v.1.6 (Minasny, McBratney y Whelan, 2002).

2.3 Análisis de las series temporales

La metodología propuesta se inserta dentro de los procedimientos estadísticos propios del análisis de series temporales, el cual comprende tres fases de estudio: la primera relacionada con el cálculo de estadísticos descriptivos básicos (media, mediana, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación, curtosis, asimetría, valores máximos y mínimos; el 1er y 3er cuartil); la segunda fase fue describir la evolución secular de la precipitación (1969-1999), la cual consistió en la tipificación de los valores anuales de precipitación y a partir de estos, ejecutar tanto el cálculo de medias móviles centradas en dos años, como el de la recta de tendencia calculada con el número mínimo de cuadrados; por último, el cálculo del rango percentil P90%-P10% como indicador de la variación de la amplitud de la serie.

3 Resultados y discusión

3.1 Comportamiento de la precipitación mediana (1969-1999)

La Figura 2 muestra el comportamiento de la mediana de precipitación para las estaciones bajo estudio. A lo largo y ancho de la cuenca del Lago de Valencia la cantidad de precipitación es sumamente variable tanto en el tiempo como en el espacio. Durante los meses de la época seca (enero a marzo) todas las localidades presentan precipitación mediana inferior a los 40 mm, con una alta proporción de valores cero.

Durante los meses de abril y mayo se incrementan los valores de precipitación mediana, con un ascenso de noroeste a sureste, que indica el avance de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), conservándose valores en el rango (50-150 mm) para la mayoría de las localidades, excepto en Agua Blanca (Figura 2g) y Las Dos Bocas (Figura 2h) donde la mediana supera este rango.

Por otra parte, para los meses junio, julio y agosto ya está establecida la época lluviosa en la región de estudio, con valores de mediana que superan los 150 mm en la mayoría de las estaciones. La localidad de Yuma Caserío (Figura 2e) presenta valores inferiores a 150 mm, siendo la localidad con valores más bajos en la época lluviosa. La localidad Las Dos Bocas presenta montos de mediana en el rango (180-240 mm) por estar ubicada en un clima ligeramente húmedo según Hernández *et al*. (2017).

Con respecto a los meses septiembre y octubre, estos presentan valores de mediana inferiores a 150 mm, desarrollándose el patrón que comenzó a manifestarse en agosto, hacia el sur del estado la precipitación aumenta significativamente durante estos meses. En noviembre y diciembre se presenta en toda la zona de estudio un patrón de disminución de la lluvia.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

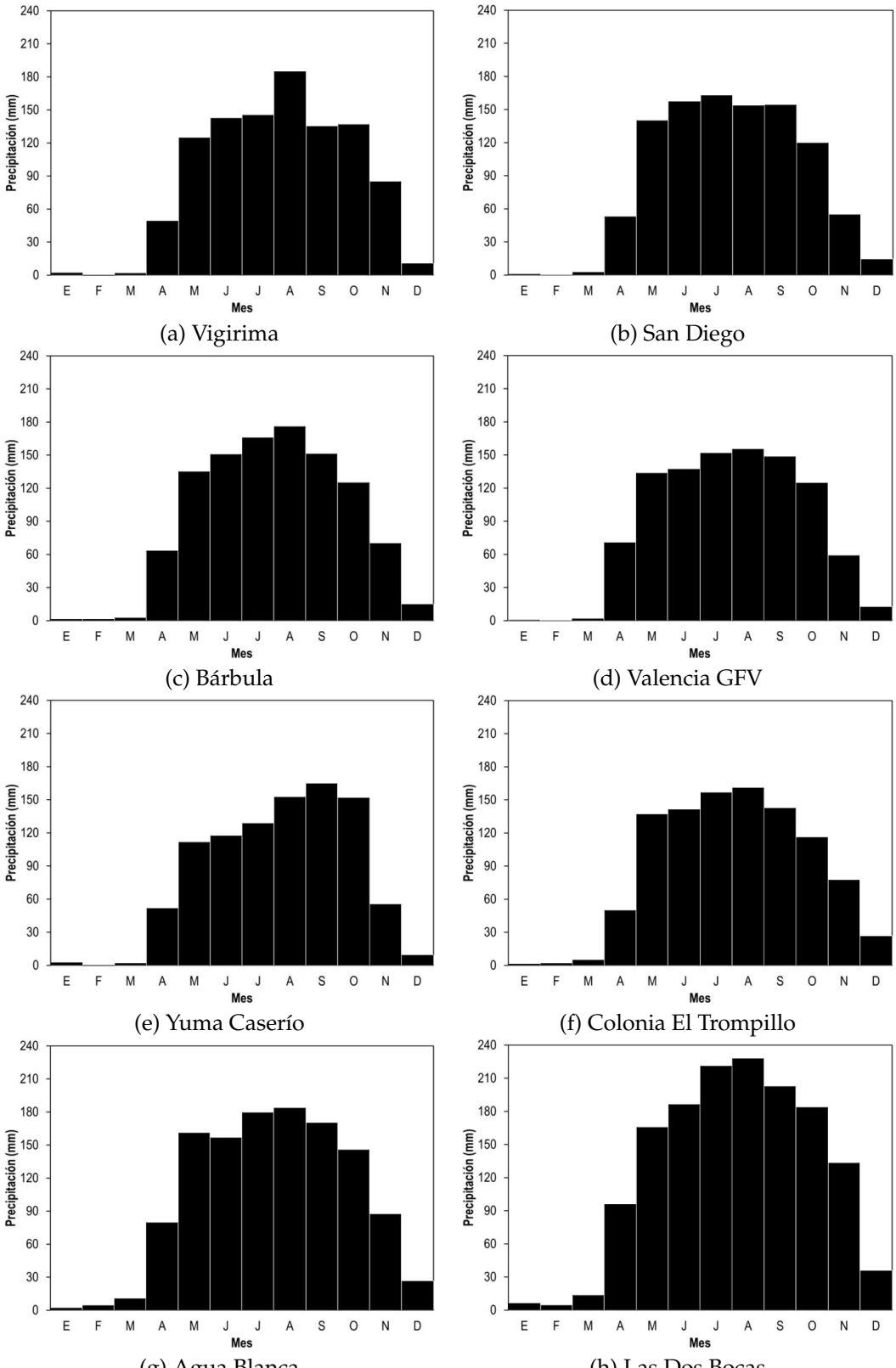


Figura 2. Precipitación mediana (mm) para el periodo (1969-1999) en las estaciones bajo estudio: (a) Vigirima; (b) San Diego; (c) Bárbula; (d) Valencia GFV; (e) Yuma Caserío; (f) Colonia El Trompillo; (g) Agua Blanca; (h) Las Dos Bocas.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.2 Comportamiento de los estadísticos descriptivos

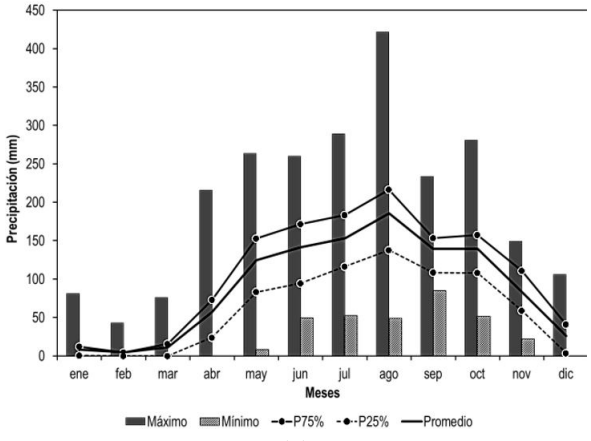
Las representaciones gráficas de cada localidad (Figura 3) mostraron valores aceptables y lógicos dentro de los rangos reportados por la Primera Comunicación Nacional de Cambio Climático en Venezuela (MARN, 2005). Una característica de esta región es la marcada estacionalidad de la precipitación, debida a la acción alternada de la zona de convergencia intertropical. El periodo lluvioso concentra más del 85% del total anual de precipitación, mientras que en los meses secos llueve muy poco siendo la precipitación mensual inferior a la evapotranspiración de referencia; es muy frecuente que en los meses de febrero y marzo la lluvia registrada sea de cero milímetros (Martelo, 2003).

Los resultados estadísticos que describen la estacionalidad de la lluvia en la zona bajo estudio coinciden con las características climáticas de la región (Guenni, Degryze y Alvarado, 2008; Olivares *et al*., 2013, 2017). La variabilidad anual de la precipitación en Venezuela está altamente influenciada por las condiciones geográficas dominantes tales como la presencia de la cordillera de La Costa y su interacción con el mar Caribe; así como la migración de la Zona de Convergencia Intertropical que origina el régimen unimodal en la zona.

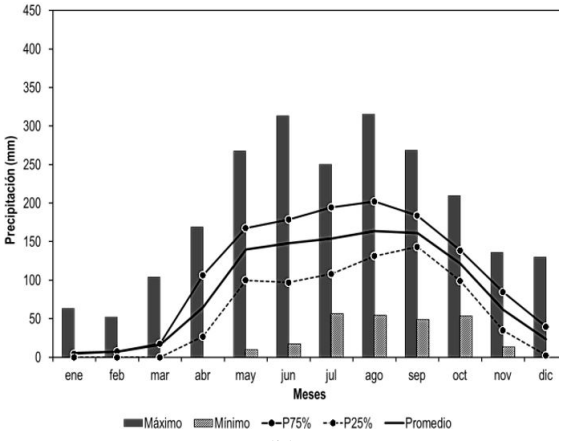
Los eventos generalizados secos de carácter relevante ocurren principalmente en meses de la época lluviosa y en los meses de noviembre y diciembre, trayendo consecuencias negativas para el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Se evidencia una diferencia significativa respecto a los eventos secos que se concentran en los meses de abril a agosto; al parecer los eventos lluviosos pueden ocurrir en cualquier momento debido al origen de la precipitación en la zona. Al respecto, Martelo (2003) señala que los eventos lluviosos registrados en las series históricas entre los meses de enero y febrero pueden ser con gran probabilidad la consecuencia de la llegada de Frentes Fríos, mientras que los eventos secos en la temporada lluviosa pueden deberse a un pasaje de Ondas del Este más alto de lo normal o a una temporada de huracanes especialmente intensa.

Una característica típica de la lluvia tropical, es la ocurrencia de gran intensidad; tal y como lo señalan González y Córdova (1992) con duraciones entre 30 minutos y 6 horas; a su vez, el estudio desarrollado por Goldbrunner (1984) establece que el 95% de las precipitaciones caen en forma de chaparrones de 15 a 30 minutos de duración, frecuentemente en la tarde.

La zona de estudio se destaca por su producción agrícola y pecuaria especialmente en los valles occidentales y en las riberas del Lago de Valencia. Es principal productor de rubros como maíz, tabaco, algodón, café, cacao, caña de azúcar, cambur, plátano, ñame, papa y cítricos. En este orden de ideas, uno de los principales problemas que enfrenta la agricultura de secano es la gran variabilidad que presenta la lluvia espacial y temporalmente, lo cual repercute en la variabilidad del inicio, fin y longitud de la estación de crecimiento que son parámetros importantes dentro de la actividad agrícola.



(a)



(b)

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

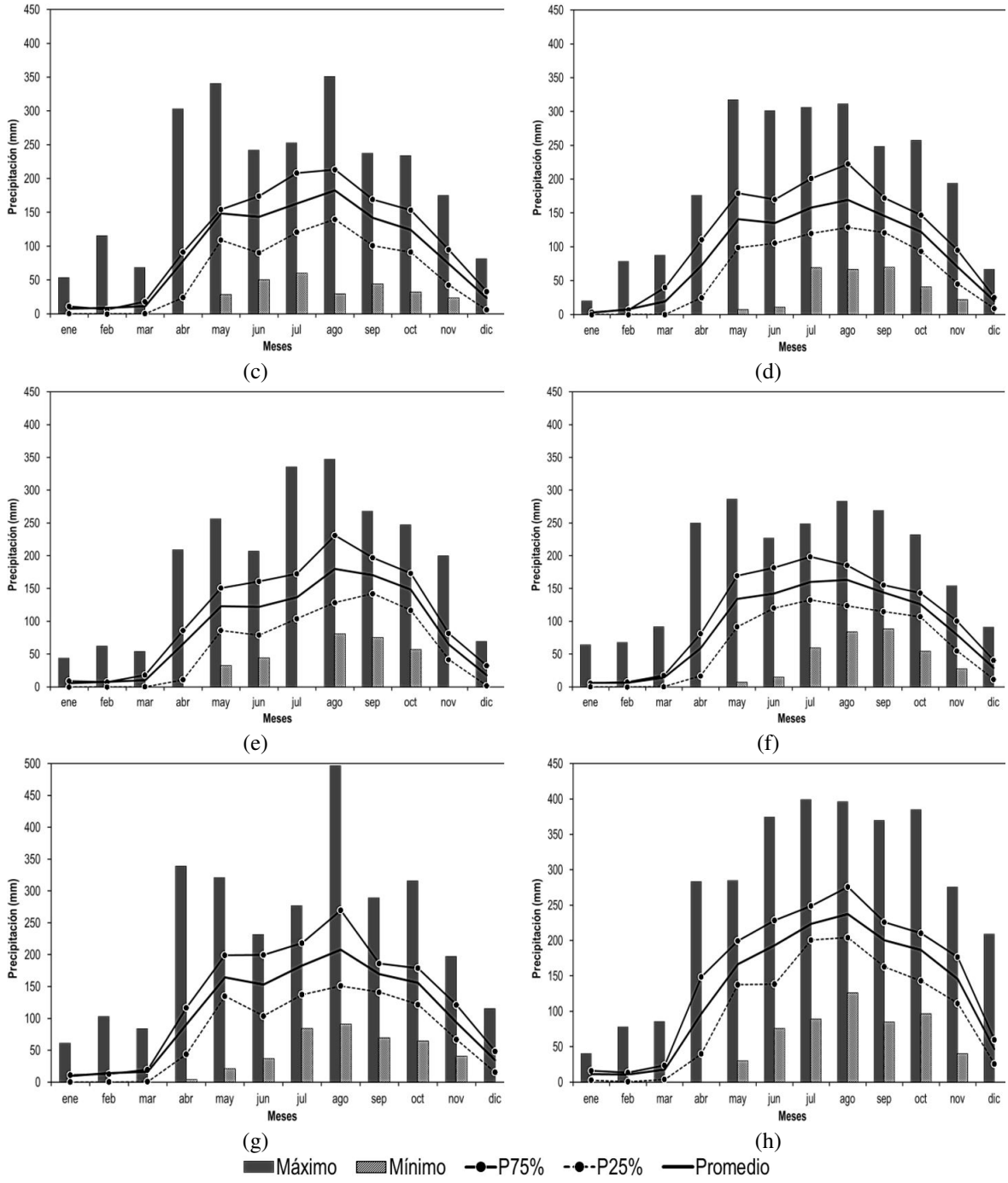


Figura 3. Comportamiento de la precipitación promedio mensual (mm), valores máximos, mínimos, percentiles 75% y 25% para las estaciones bajo estudio: (a) Vigirima; (b) San Diego; (c) Barbula; (d) Valencia GFV; (e) Yuma Caserio; (f) Colonia El Trompillo; (g) Agua Blanca; (h) Las Dos Bocas.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

En estas localidades donde la variabilidad de precipitación es elevada, no se recomienda utilizar el valor promedio, particularmente por estar ubicadas en una región subhúmeda, zonas donde suele utilizarse la captación de lluvia y donde la variabilidad de precipitación tiende a ser alta. Es más adecuado utilizar un valor cuya probabilidad de ocurrir sea mayor que el 50% (por ejemplo, 75% o más), dependiendo de las características locales de la precipitación, el tipo de uso y la situación de escasez. Generalmente, cuanto más severa es la situación de escasez y prioritario es el tipo de uso, menos incierta debe ser la cantidad de agua disponible.

El manejo de la información sobre el déficit hídrico vegetal puede orientar y hasta modificar las fechas de siembra de los cultivos con la finalidad de tener menor déficit de agua. Aunque pueda parecer obvio, este tipo de estudios permiten orientar al productor o planificador al momento de seleccionar las fechas de siembra, buscando coincidir los períodos de menor probabilidad de déficit (mayores valores de la lluvia de diseño) con el período más crítico de susceptibilidad de los cultivos, generalmente el reproductivo. Se trata de buscar un ajuste entre la demanda hídrica de los cultivos con la disponibilidad de agua en el periodo.

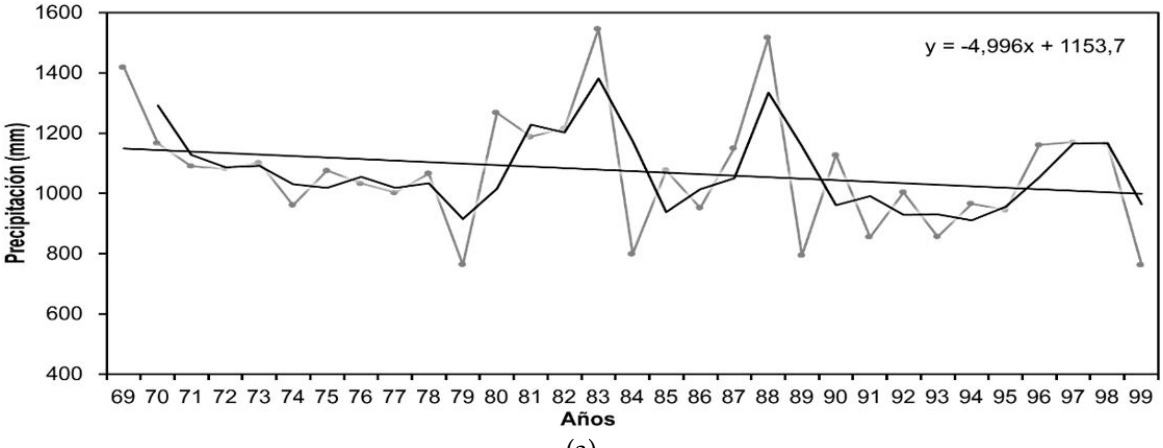
En particular, la longitud del ciclo de los cultivos que crecen en la zona de estudio (cereales, hortalizas y tubérculos) deberán ser más cortos que la longitud de la estación de crecimiento más probable (inferior a cinco meses de duración).

La falta de agua significativa, en un mes lluvioso y bajo condiciones de agricultura de secano, pone en apuros a los productores agrícolas de la zona, quienes frente a una realidad que se repite año tras año, deben elaborar una serie de estrategias para manejar con éxito esta situación. Considerando la magnitud del déficit hídrico en estas zona agrícolas del estado Carabobo, se debería enfrentar los episodios de sequía mediante una mayor dotación de recursos para la construcción de pozos profundos, aprovechando además causes de los ríos y quebradas cercanos.

Por el contrario, los excesos de agua, también ejercen una influencia considerable en la logística de la cosecha agrícola, por lo que, para aquellas zonas de amplio tamaño y cuyo paquete tecnológico lo permita, las maquinarias deberán estar en condiciones operativas para no perder tiempo de días de cosecha por roturas previsibles. Además, es probable que la red de caminos o carreteras agrícolas esté en una situación de intransitabilidad, por lo que se deberá organizar con tiempo el almacenaje en el campo y su posterior cuidado de acuerdo a la humedad de almacenaje y condiciones de almacenamiento.

3.3 Evolución de la precipitación anual (1969-1999)

Las curvas de las medias móviles (Figura 4), registran los valores más bajos en los años 1979 (sequia generalizada), 1985 y 1990 para las localidades San Diego (Figura 4b) y Bárbula (Figura 4c), coincidiendo con los mínimos valores de Vigirima (Figura 4a), a excepción del periodo 1994. Por su parte en Valencia (Figura 4d), la media móvil más baja se presentó durante los años 1997 y 1990.



(a)

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

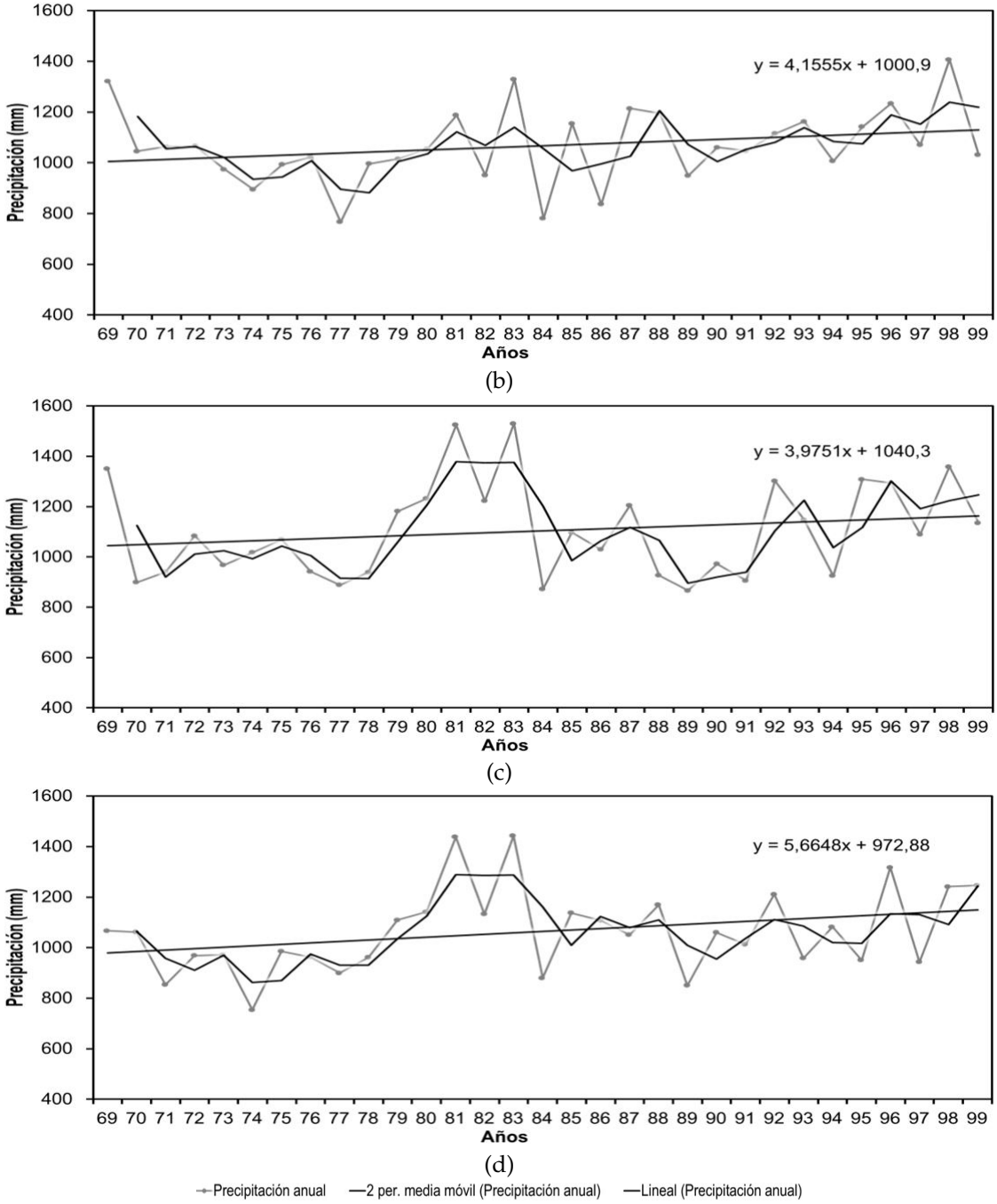


Figura 4. Evolución de las precipitaciones anuales (1969-1999) para las estaciones bajo estudio: (a) Vigirima; (b) San Diego; (c) Bárbula; (d) Valencia GFV.

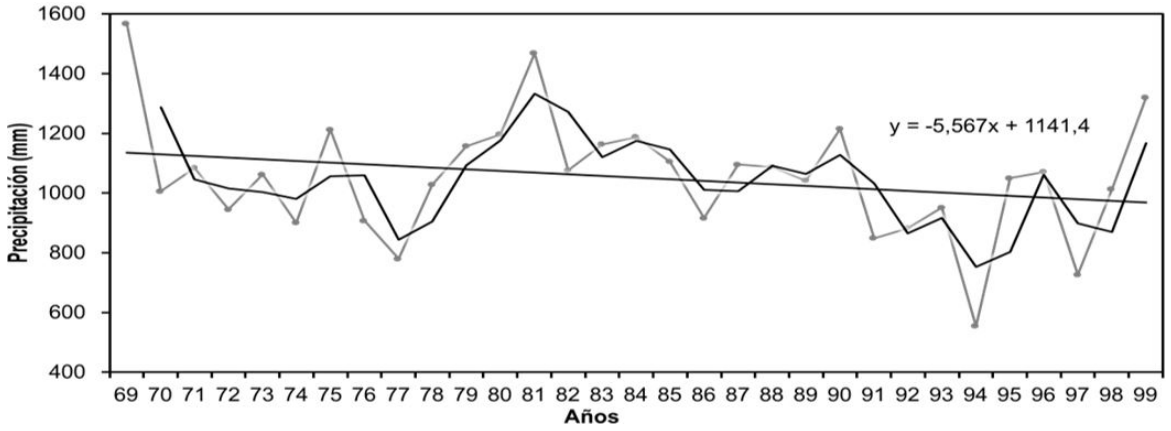
De esta gráfica se desprende que la parte sureste del estado Carabobo presenta una tendencia negativa en la precipitación, representadas por las localidades Yuma Caserío (Figura 5a), Colonia El Trompillo (Figura 5b), cuyos valores más bajos de media móvil se registran durante los años 1977 y 1994; por su parte, en Agua Blanca (Figura 5c) los años más secos fueron 1974 y 1997, mientras que en Las Dos

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

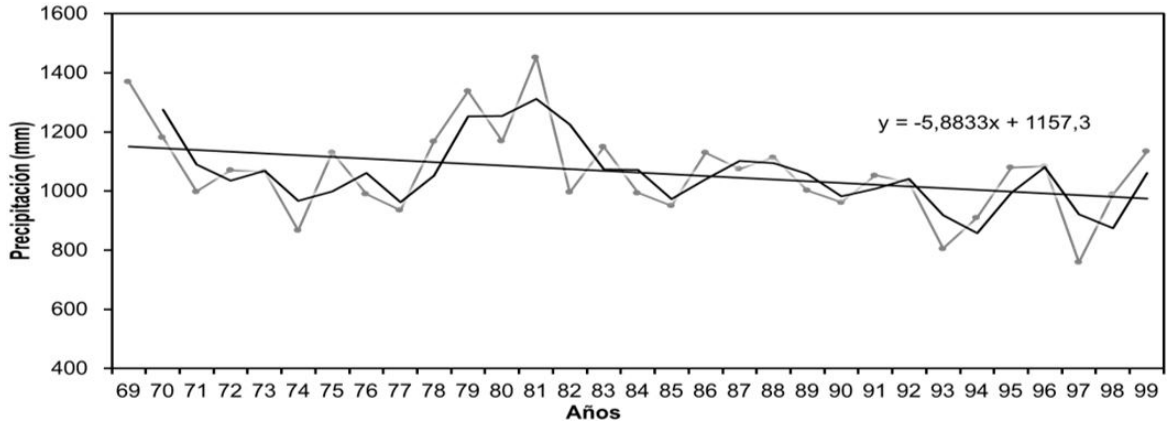
Bocas (Figura 5d) los años secos lo constituyen 1980 y 1989.

Para la mayoría de las localidades analizadas, el componente de tendencia no resulta estadísticamente significativo, sin embrago, los valores obtenidos de pendientes negativas para la zona de estudio están de acuerdo, al menos en signo, con las reportes de Guenni, Degryze y Alvarado (2008). Las pendientes negativas también pueden ser una evidencia de una mayor actividad del fenómeno ENSO (El Niño-Southern Oscilation) en años recientes, dado el impacto negativo de la fase caliente de ENSO (El Niño) sobre la precipitación de la región norte de Suramérica (Poveda, Waylen y Pulwarty, 2006).

El análisis de estas tendencias negativas, podría asomar la posibilidad de una reducción en el número de meses húmedos lo que limita el uso de cultivos tanto anuales como perennes, dependiendo de la magnitud de la reducción. La distribución de la precipitación se verá afectada, ejemplo de ello es el análisis de la distribución derivada del estudio de Martelo (2003), donde la mayor incidencia es en el mes de mayo época que corresponde a la preparación de las tierras y siembra de los principales cultivos en la mayoría de las zonas agrícolas; con incidencias también en el mes de agosto, mes que se corresponde con la floración, fructificación y llenado de granos principalmente de cereales.



(a)



(b)

LA GRANJA:*Revista de Ciencias de la Vida* 27(1) 2018:86-102.
©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

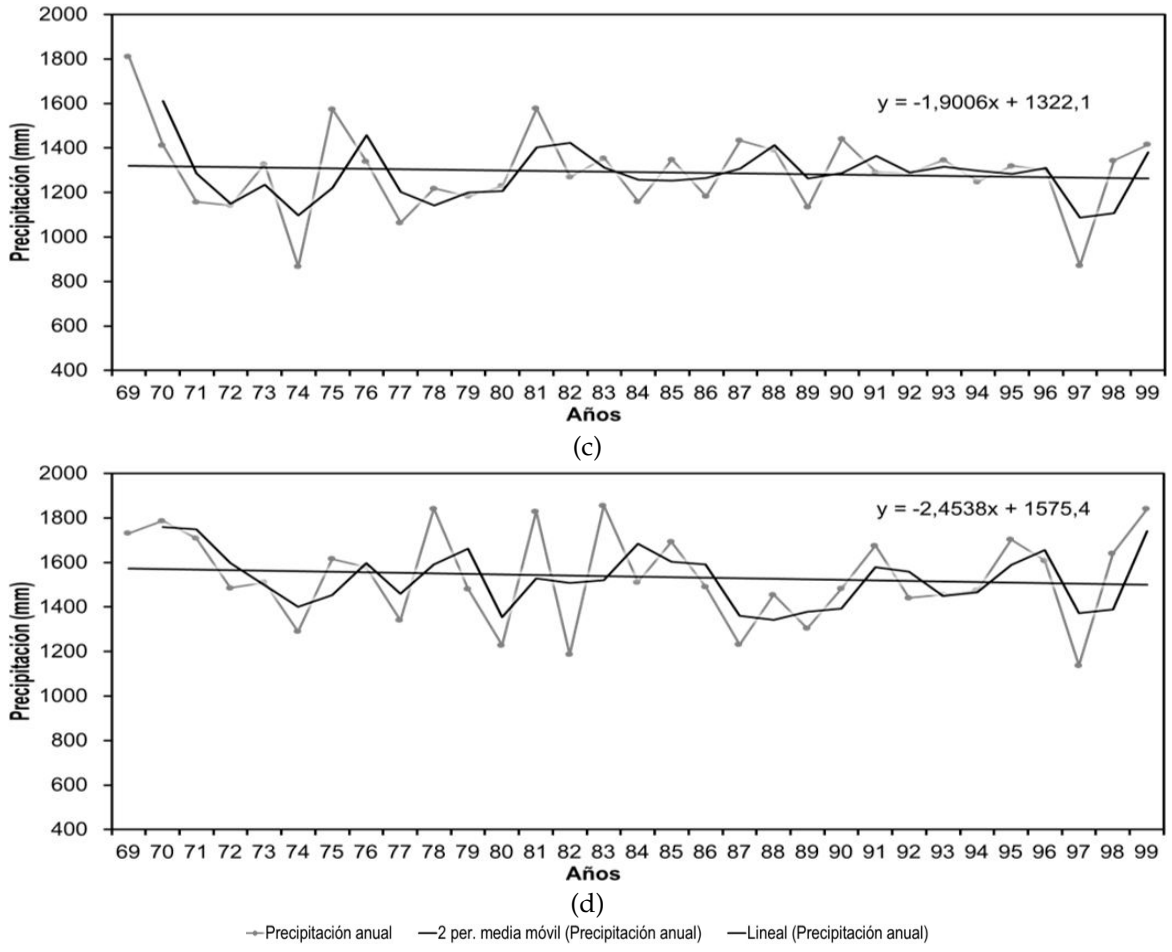


Figura 5. Evolución de las precipitaciones anuales (1969-1999) para las estaciones bajo estudio: (a) Yuma Caserío; (b) Colonia El Trompillo; (c) Agua Blanca; (d) Las Dos Bocas.

Este patrón, coincide con las amenazas asociadas al Cambio Climático, dado que estudios globales, han estimado entre otras, alteraciones en el sistema climático y cambios en la estacionalidad de la precipitación con un incremento en la intensidad de los periodos secos con fuertes repercusiones sobre el ciclo hidrológico (MARN, 2005; Ovalles *et al*., 2008).

De acuerdo a lo anterior, el estado Carabobo, presenta una superficie cosechada de estos rubros de 6.970 ha donde el 65% corresponde a la caña de azúcar, el 16% a los cereales, el 19% restante distribuido entre cacao, plátano, cambur, tabaco, pimentón y tomate. Ya en estas zonas la mayor parte de los rubros mencionados (cacao, caña, hortalizas, Musáceas y semilla de cereales) están al menos parcialmente bajo riego. Ello creara mayor competencia por el agua con otros usos como el urbano y exigirá métodos de riego mucho más eficientes que los actuales para mantenerse en la zona.

Ante el impacto estimado de reducción promedio de la oferta hídrica anual en las localidades Yuma Caserío, Colonia El Trompillo, Agua Blanca y Las Dos Bocas, se debe vislumbrar que es necesario el entendimiento de las posibles repercusiones por cambios en la concentración de la precipitación a escala diaria y horaria, que a su vez contribuirán a determinar de manera más precisa las adaptaciones futuras en los sistemas agroproductivos de Carabobo para hacer frente a los riesgos por cambios en la frecuencia e intensidad de eventos de la precipitación.

Es por ello que los impactos de las tendencias climáticas determinan la relevancia de emprender acciones coordinadas sobre el territorio agrícola, da-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

do que los cambios en las partes altas de las subcuencas que la conforman, afectarán también las actividades en zonas media y baja, así mismo en la población y los diferentes sectores agroproductivos.

Los resultados inducen un posible aumento en la precipitación mensual a menor altitud, sobre el Valle representativo en las localidades San Diego y Valencia, esto deberá implicar adaptaciones tecnológicas de algunas unidades de producción agrícola, principalmente para la agricultura que se desarrolla activamente en esta zona de la cuenca del Lago de Valencia, referidas por ejemplo a modificaciones sobre las fechas de siembra y la programación del riego. Sin embargo, los mayores impactos estimados de reducción en la precipitación anual hacia la zona sur, pueden significar fuertes repercusiones sobre un descenso en la oferta hídrica y las consecuencias en menos agua para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos.

3.4 Análisis del rango percentil P90 %-P10 %

Este indicador proporciona información sobre la amplitud de la variación en la serie, donde el 87% de los valores de la serie presentan diferencias menores a este rango, y solo el 13% de los valores totales de todas las localidades bajo estudio son considerados como valores extremos. Esta información permitiría en un sentido muy amplio, identificar aquellos años donde la precipitación anual recibida comparada con la precipitación de la estación lluviosa (mayo a octubre) no logra ser significativa o suficiente para cubrir las demandas de agua de los cultivos, para el caso de extremos secos o por el contrario, que se generen condiciones de excesos de agua en años extremos húmedos, lo que hace el manejo del agroecosistema muy vulnerable.

Al graficar los montos de precipitación anual y estacional (mayo a octubre), en conjunto con la ubicación de los años particulares con relación a los percentiles obtenidos a partir de la serie histórica de datos, se definen los extremos húmedos y secos para dos localidades representativas en el área de estudio. Por una parte, en Vigirima (Figura 6a) se identifican los años 1983 y 1988 como extremos húmedos, es decir, estos años presentan montos anuales y estacionales por encima del percentil 90. La ocurrencia de estos eventos pueden determinar el fracaso de la cosecha, la disminución drástica de los rendimientos, la afectación de la plantación por condiciones propicias para el ataque de plagas y aparición de enfermedades, así como el aumento del riesgo climático que puede afectar la estabilidad de la agricultura en la zona. Por otra parte, los años 1979 y 1999 corresponden con los valores extremos secos (<800 mm), ubicándose por debajo de los percentil 10 de la lluvia anual y estacional.

Para el periodo analizado, los resultados descritos evidencian que el fenómeno ENOA (El Niño-Oscilación Austral) puede explicar de forma parcial la ocurrencia de meses extremadamente secos o Extremos húmedos a escala local durante las temporadas húmedas y secas en la cuenca del lago de Valencia (Paredes *et al*., 2015; Olivares *et al*., 2016).

Según Cárdenas, García y Gil (2002), El Niño presenta una mayor incidencia sobre los extremos pluviométricos que La Niña a escala local y suele estar relacionado con condiciones anómalamente secas con moderada cobertura espacial. La moderada a escasa conexión entre las fases activas de ENOA identificada a escala local sugiere que otros factores no evaluados incidieron de forma determinante sobre ciertos eventos pluviométricos extremos (por ejemplo, la sequía generalizada de 1979 se dio durante la fase neutra de ENSO).

Las estrategias de manejo del agua en las localidades bajo estudio estarían orientadas a mantener infiltración elevada en el suelo; la prevención y control de la escorrentía, dado el riesgo alto de erosión hídrica en el periodo húmedo para zonas montañosas, además de promover técnicas para captar y almacenar agua en el periodo húmedo para uso en el periodo seco (Ovalles *et al*., 2008). Así mismo, está claro que el uso de técnicas de mejoramiento de agua en el suelo, aprovechamiento de la escorrentía o utilización del riego (dependiendo de la disponibilidad de agua) es muy importante para la producción agrícola de las localidades abordadas. También ayudaría el uso de cultivos adaptados al ecosistema local en función del tipo de clima y suelo.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

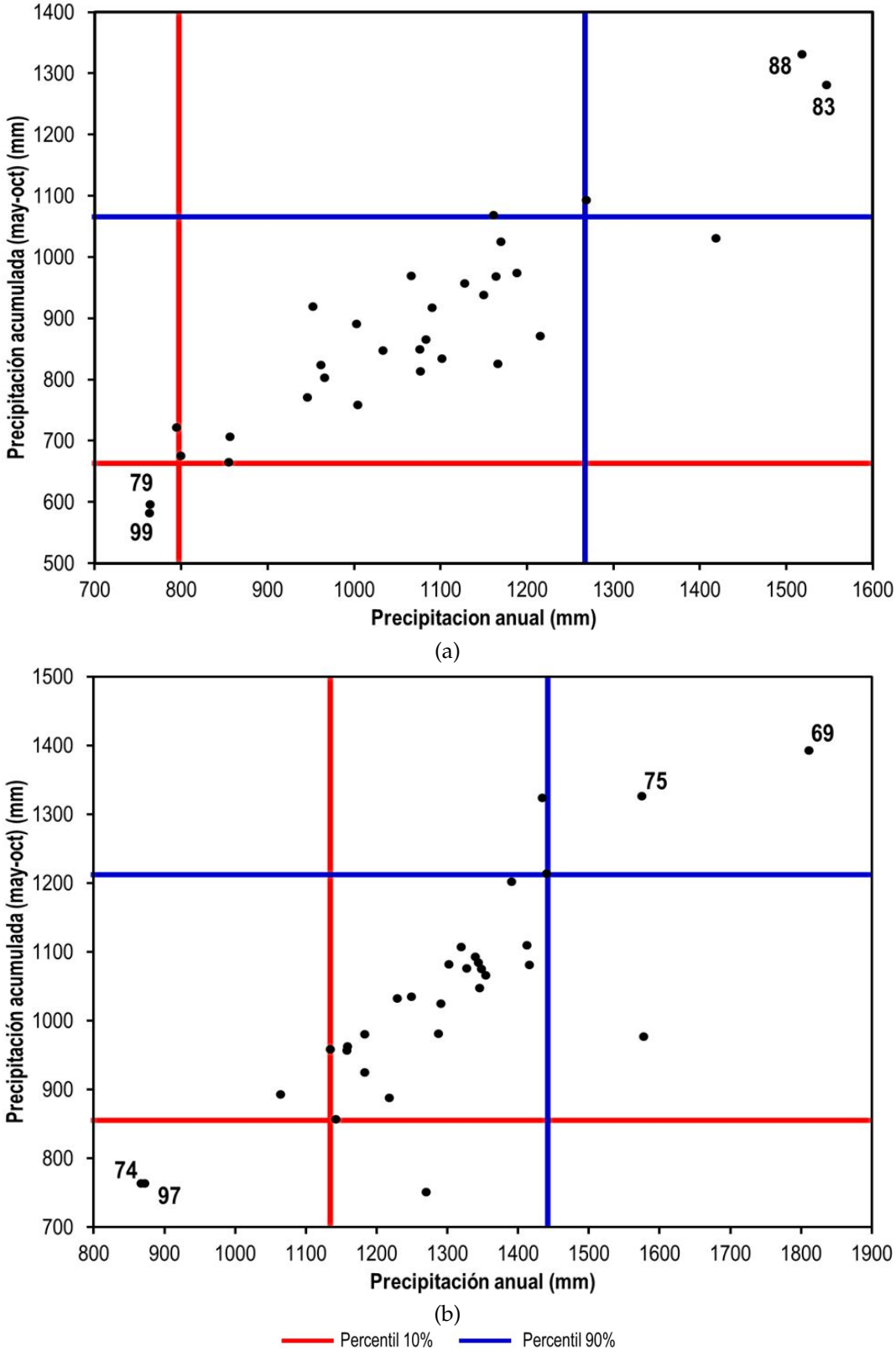


Figura 6. Rango percentil P90%-P10% de la precipitación anual y la precipitación acumulada entre la época lluviosa (mayo a octubre) en las localidades bajo estudio: (a) Vigirima; (b) Agua Blanca.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

En la localidad de Agua Blanca (Figura 6b), se identificaron los años 1969 y 1975 como extremos húmedos, siendo los valores de lluvia anual y estacional superiores a los percentiles 90 de la serie, mientras que los años 1974 y 1997 son considerados como los extremos secos se la serie, ubicándose por debajo del percentil 10. En este caso, ambos valores de extremo seco son superiores a 800 mm, lo que se interpreta que bajo estas condiciones, los extremos húmedos tendrían un mayor impacto que los extremos secos.

En función a lo descrito, es preciso que este tipo de análisis se realice con información diaria debido fundamentalmente a que para el caso de la agricultura de secano, la evaluación de estas situaciones extremas requiere de herramientas que incluyan la variabilidad interanual con enfoque de escala diaria con la firme convicción de obtener una mayor idea del riesgo climático en las zonas agrícolas.

4 Conclusiones

La variabilidad interanual de la precipitación es elevada, incluso en los meses más lluviosos. Así mismo, los análisis realizados evidencian como es de esperar, un aumento de la variabilidad en la época seca. Es de considerar que los resultados mostrados en este estudio tienen gran importancia desde el punto de vista del manejo sostenible del agua para la agricultura, ya que implica la necesidad de conocer en detalle local, cuales son los rangos principales de la precipitación que tienen efectos directos sobre los sistemas agro productivos, en especial, cuando este elemento climático es el más variable de todo el sistema.

Los resultados demostraron el comportamiento de la variabilidad estacional e interanual de la lluvia de modo general y su posible influencia en la agricultura de secano desarrollada en la cuenca del Lago de Valencia, Carabobo, con esto se obtiene un conocimiento básico y amplio sobre este elemento climático, lo cual permitirá una aproximación mucho más asertiva en la toma de decisiones estratégicas en territorios agrícolas.

La vocación agrícola en las tierras bajas de la cuenca del lago de Valencia, la hace muy vulnerable a los episodios secos persistentes, donde los cultivos de secano como sorgo industrial, maíz, hortalizas, frutas (musáceas) y cítricos merman sus rendimientos durante la ausencia prolongada de lluvias, lo que afecta al sector agrícola de la región.

Agradecimiento

Se agradece el apoyo financiero de la Secretaría de Seguridad Alimentaria y Desarrollo Agrario de la Gobernación del estado Carabobo, Venezuela y a la Gerencia de Meteorología Aplicada del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMEH).

Referencias

Cárdenas, P, L. F García y A. Gil. 2002. *Impacto de los eventos El Niño-Oscilación del Sur en Venezuela.* Corporación Andina de Fomento. [en línea] disponible en: https://goo.gl/HNHYr1.

Comerma, J y R. Parede. 1978. "Principales limitaciones y potencial agrícola de las tierras en Venezuela." *Agronomía Tropical* 28(2):71–85. [en línea] disponible en: https://goo.gl/phU4uG.

Cortez, A, M. F Rodríguez, J. C Rey, D Lobo, F Ovalles, D Gabriels y R. M. Parra. 2011. "Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región noroccidental." *Bioagro* 23(1):13–18. [en línea] disponible en: https://goo.gl/rEXu4Y.

Di Rienzo, J. A, F Casanoves, M. G Balzarini, L González, M Tablada y C. W. Robledo. 2011. *InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA*. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [en línea] disponible en: https://goo.gl/GzbBA5.

Goldbrunner, A. W. 1984. *Atlas climatológico de Venezuela 1951-1980*. Maracay: Servicio de Meteorología y Comunicaciones de la Fuerza Aérea Venezolana.

González, M y J. R. Córdova. 1992. Análisis estadístico de la precipitación máxima probable en Venezuela. In *IV Encuentro Nacional de Clima Agua y Tierra. IV Jornadas Nacionales de Hidrología, Meteorología y Climatología. IX Jornadas de Riego Mejoramiento de Tierras, Caracas, Venezuela. [en línea] disponible en: https://goo.gl/hhFTTt*.

Guenni, L, E Degryze y K. Alvarado. 2008. "Análisis de la tendencia y la estacionalidad de la precipitación mensual en Venezuela." *Revista Colombiana de Estadística* 31(1):41–65. [en línea] disponible en: https://goo.gl/vYemZe.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Guevara, E, J. E Guevara y E. García. 2008. "Régimen climático y patrón espacial de las lluvias en la cuenca del Lago de Valencia, Venezuela." *Revista de Climatología* 8:29–40. [en línea] disponible en: https://goo.gl/mBwscQ.

Guevara, J. M. 2003. *Métodos de estimación y ajuste de datos climáticos*. Consejo de desarrollo científico y humanístico. UCV. [en línea] disponible en: https://goo.gl/LfLMWP.

Hernández, R, Y Pereira, J. C Molina, R Coelho, B Olivares y K. Rodríguez. 2017. *Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela.* Universidad Internacional de Andalucía, España. [en línea] disponible en: https://goo.gl/jrZJiM.

INE. 2011. *Informe Geoambiental del Estado Carabobo*. Instituto Nacional de Estadística, Venezuela. [en línea] disponible en: https://goo.gl/PKyDnT.

Jones, B y J. Sall. 2011. "JMP statistical discovery software." *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics* 3(3):188–194. [en línea] doi: http://www.dx.doi.org/10.1002/wics.162.

Lobo, D, A Cortez, M. F Rodríguez, F Ovalles, J. C Rey, D Gabriels y R. M. Parra. 2010. "Análisis de la agresividad y concentración de las precipitaciones en Venezuela. I. Región de los llanos." *Bioagro* 22(3):169–176. [en línea] disponible en: https://goo.gl/EDH95z.

MARN. 2005. *Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela. Caracas: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)*. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales, Venezuela. [en línea] disponible en: https://goo.gl/qhQX6o.

Martelo, M. T. 2003. *Metodología para la selección de Modelos de Circulación General de la Atmósfera y Escenarios Climáticos a incluir en la Primera Comunicación Nacional en Cambio Climático de Venezuela*. Proyecto MARN–PNUD VEN/00/G31, Dirección de Hidrología y Meteorología, Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales. Caracas - Venezuela.

Minasny, B, A. B McBratney y B. M. Whelan. 2002. *Vesper version 1.6.* Australian Centre for Precision Agriculture. University of Sidney, Australia. [en línea] disponible en: https://goo.gl/s2HMX4.

Olivares, B, A Cortez, D Lobo, R Parra, J. C Rey y M. Rodríguez. 2016. "Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado." *Revista Acta Nova* 7(3):267–283. [en línea] disponible en: https://goo.gl/FCLiog.

Olivares, B, A Cortez, R Parra, M Rodríguez y E. Guevara. 2013. "Aplicación de procedimientos estadísticos para el control de calidad de las series de precipitación mensual de los llanos orientales venezolanos." *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* 30(3):367–391. [en línea] disponible en: https://goo.gl/meceBY.

Olivares, B, L Caraballo y J. Torrealba. 2013. "Variabilidad del régimen de precipitación en el período 1990-2009 en la localidad de El Tigre estado Anzoátegui, Venezuela." *Revista de la Facultad de Agronomía (LUZ)* (30):19–32. [en línea] disponible en: https://goo.gl/ViUrtG.

Olivares, B, M. L Zingaretti, J. A Demey Zambrano y J. R. Demey. 2017. "Aplicación del método STATIS-ACT al régimen de lluvias en la Región Oriental Venezolana. UNED." *Cuadernos de investigación. UNED* 9(1):97–106. [en línea] disponible en: https://goo.gl/PEFbFb.

Olivares, B. O. 2009. "Características de interés agrícola de la precipitación en la agricultura de secano." *INIA Divulga* (14):25–27, [en línea] disponible en: https://goo.gl/9pUfko.

Olivares, B, R Parra, E Guevara, A Cortez y M. F. Rodríguez. 2012. "Patrones de homogeneidad pluviométrica en estaciones climáticas del estado Anzoátegui, Venezuela." *Multiciencias* 12(Extraordinario):11–17. [en línea] disponible en: https://goo.gl/RENec1.

OMM. 2009. *La Organización Meterorológica Mundial da un vistazo*. Fuentes Mixtas, Organización Meterorológica Mundial, [en línea] disponible en: https://goo.gl/fvaEQo.

Ovalles, F, A Cortez, M. F Rodríguez, J. C Rey y E. Cabrera-Bisbal. 2008. "Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela." *Agronomía Tropical* 58(1):37–40. [en línea] disponible en: https://goo.gl/bR3EGv.

Paredes, F, E Guevara-Pérez, H Barbosa-Alves y C. Uzcátegui-Briceño. 2015. "Tendencia de la

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

precipitación estacional e influencia de El Niño-Oscilación Austral sobre la ocurrencia de extremos pluviométricos en la cuenca del lago." *Tecnología y Ciencias de la Luz* 6(6):33–48. [en línea] disponible en: https://goo.gl/G75Cc5.

Parra, R y A. Cortez. 2005. "Control de calidad de series de precipitación de las series de precipitación del INIA Venezuela en el periodo 1970-2000." *Revista Argentina de Agrometeorología* (5–6):63–73.

Poveda, G, P Waylen y R. Pulwarty. 2006. "Annual and Inter-annual Variability of Present Climate in Northern South America and Southern Mesoamerica." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 234(1):3–27. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2005.10.031.

Pradere, R. 1999. "Definición de patrones homogéneos de pluviosidad en los llanos centrales venezolanos mediante Kriging factorial." *Agronomía Tropical* 49(3):297–325. [en línea] disponible en: https://goo.gl/RzB5Lg.

Toledo, V y D. Hernández-Szczurek. 2003. Estudio de la variabilidad temporal y espacial de las lluvias anuales de la depresión de Carora, estado Lara, Venezuela. In *Evaluación de parámetros y procesos hidrológicos en el suelo. VII Escuela Latinoamericana de Física de Suelos.* La Serena - Chile. [en línea] disponible en: https://goo.gl/wS6CHe.

Zinck, J. A. 2012. *Geopedología. Elementos de Geomorfología para Estudios de Suelos y Riesgos Naturales*. ITC Special Lecture Notes Series. [en línea] disponible en: https://goo.gl/5bKvFm.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granjA:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08

Artículo científico / Scientific paper

Remediación

ABYA YALA | UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales

Wastewater treatment of industrial loads with advanced oxidation in conventional systems

Renato Gabriel Sánchez Proaño[1,2], Katty J. García Gualoto[2]

[1] *Grupo de Investigación en Ciencias Ambientales, GRICAM, Ingeniería ambiental; Universidad Politécnica Salesiana del Ecuador, sede Quito: Av. Morán Valverde y Rumichaca s/n.*
[2] *Carrera de Ingeniería Ambiental. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador, Rumichaca y Morán Valverde s/n-Quito, Tel. (+593) 2 3962900/ 3962800.*

*Autor para correspondencia: rsanchezp@ups.edu.ec

Artículo recibido el 4 de noviembre de 2017. Aceptado, tras revisión, el 8 de febrero de 2018. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

En las regiones rurales de América Latina los sistemas de tratamiento de agua residuales se basan en tecnologías convencionales como las fosas sépticas. Estos sistemas de tratamiento no soportan índices de biodegradabilidad menores a 0,4 medidos en forma de DBO_5/DQO, valores que se obtienen cuando en el agua se encuentran contaminantes refractarios; que a su vez se los asocia en la mayoría de los casos con la intromisión de agua residual industrial. En estos casos los sistemas de tratamiento convencionales no cumple las normativas para los cuales fueron diseñados; y por tanto se pierde la inversión pública para construirlos. Es por esto que en la presente investigación se elevó el índice de biodegradabilidad de este tipo de efluentes, para lo cual se usó agua residual doméstica mezclada con lixiviado y efluente industrial obtenida de la quebrada Chasinato en la provincia de Tungurahua en Ecuador, en la cual se obtuvo un índice de biodegradabilidad de 0,22 en DBO_5/DQO. A este efluente se le aplicó un proceso de oxidación avanzada de Fenton modificado, con lo cual se incrementó el índice de biodegradabilidad y se evitó reducir el pH, ya que en grandes volúmenes esto resulta muy costoso. Las concentraciones óptimas de reactivos fueron de $FeSO_4/H_2O_2 = 1$ y $C_6H_8O_7/H_2O_2 = 2$; con la colocación de 10 mg/L de H_2O_2, con lo cual se aumentó el índice de biodegradabilidad a un valor de 0,46 que es un valor satisfactorio para tratarse en sistemas convencionales como son las fosas sépticas; además de una reducción de la DBO_5 y DQO en eficiencias de 12,54%; 44,4% respectivamente.
Palabras claves: Oxidación avanzada, Fenton modificado, contaminantes refractarios, tratamiento de lixiviados, fosa séptica.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

In the rural regions of Latin America, wastewater treatment systems are based on conventional technologies such as the septic tanks. These treatment systems do not support biodegradability indexes lower than 0,4 measured in the form of BOD_5/COD, values obtained when refractory contaminants are found in water; which in turn are associated in most cases with the intrusion of industrial wastewater. In these cases, the conventional treatment systems do not meet the regulations for which they were designed; and therefore public investment is lost to build them. This is why in the present investigation the biodegradability index of this type of effluents was increased, for which domestic wastewater mixed with leachate and industrial effluent obtained from the Chasinato creek in the Tungurahua province of Ecuador was used, in which a biodegradability index of 0,22 was obtained in BOD_5/COD. An advanced oxidation process of modified Fenton was applied to this effluent, which increased the biodegradability index and avoided reducing the pH, since in large volumes this is very expensive. The optimal concentrations of reagents were $FeSO_4/H_2O_2 = 1$ and $C_6H_8O_7/H_2O_2 = 2$; with the addition of 10 mg/L of H_2O_2, which increased the biodegradability index to a value of 0,46, which is a satisfactory value to be treated in conventional systems such as septic tanks; in addition to a reduction of BOD_5 and COD in efficiencies of 12.54%; 44.4% respectively.
Keywords: Advanced oxidation, modified Fenton, refractory contaminants, leachate treatment, septic tank.

Forma sugerida de citar: Sánchez Proaño, R. G. y García Gualoto, K. J. 2018. Tratamiento de aguas residuales de cargas industriales con oxidación avanzada en sistemas convencionales. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):103-111. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.08.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

En las regiones rurales de América Latina y el Caribe, la cobertura de sistemas de alcantarillado fue del 64% para el año 2015 (Lentini, 2015), llegándose a tratar el agua residual en un 34% (UNESCO, 2017). La mayoría de estos sistemas de tratamiento son plantas convencionales construidas en las etapas finales de los sistemas de alcantarillado, los cuales se ubican antes de una descarga a cuerpos de agua. Estos sistemas de tratamiento se basan en tecnologías de remoción de baja carga contaminante y bajo costo de construcción y operación. La tecnología más usada es la fosa séptica, construida generalmente de concreto o plástico (Jouravlev, 2004).

Las fosas sépticas se usan como sistemas de tratamiento primario (Metcalf y Eddy, 2003) que remueven aceites, grasas y sólidos suspendidos en un 50% (Méndez *et al*., 2012), convirtiendo los sólidos suspendidos volátiles a los fijos. La eficiencia en remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), sólidos suspendidos totales (SST), y coliformes totales van desde menos del 50% hasta el 80% en función de la temperatura (Lucho-Constantino *et al*., 2015).

El índice de biodegradabilidad es un factor de influencia en la eficiencia de una fosa séptica, que debe ser mayor a 0,4 calculado con el factor DBO_5/DQO (Ortiz de Zárate y Aguila Apodaca, 1997), lo cual no se cumple cuando las aguas residuales presentan contaminantes refractarios, que están relacionados con la mezcla de las aguas residuales domésticas y aguas residuales industriales sin tratamiento. Estos contaminantes se incrementan en las aguas residuales de zonas rurales por el aumento en el uso de productos químicos en los hogares, la industria doméstica u otras actividades productivas. Entre los contaminantes refractarios presentes en el agua residual doméstica están pesticidas, medicamentos, compuestos de aseo personal, residuos de industria doméstica, entre otros (Gil *et al*., 2013); y cuando sus concentraciones son muy altas, se reducen sus índices de biodegradabilidad hasta niveles en los que las eficiencias de las plantas de tratamiento convencionales no llegan a cumplir las normativas de descarga, convirtiéndose en infraestructura inservible (English, 2010).

Es por esto que en la presente investigación se propone el incremento de una etapa de tratamiento avanzado de las aguas residuales al inicio de los sistemas de convencionales con fosa séptica, para aumentar la biodegradabilidad de las aguas y permitir que el tratamiento posterior trate el agua residual con el índice de biodegradabilidad modificado.

El tratamiento de oxidación avanzada fue descrito inicialmente por Glaze, Kang y Chapin (1987), basándose en la generación de oxidantes fuertes como los radicales ·OH para la degradación de compuestos solubles no biodegradables presentes en el agua residual. El proceso de oxidación avanzada escogido es el método Fenton, el cual forma radicales ·OH según la siguiente ecuación (Somich, Muldoon y Kearney, 1990; Martiínez-Huitle *et al*., 2008):

$$Fe_{2+} + H_2O_2 \rightarrow Fe_{3+} + \cdot OH + OH^-$$

Como se muestra, un reactivo en el proceso Fenton es el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), pero este por sí solo no oxida a ciertos contaminantes refractarios; requiriendo la adición de sales de hierro para la formación de radicales hidroxilo ·OH. Con la presencia de ·OH, oxidarán de forma no específica los compuestos orgánicos a altas velocidades (Pawar y Gawande, 2015).

En una reacción Fenton el pH se controla en un rango de 3 a 5 (Pawar y Gawande, 2015), pero al tener agua residual con pH cercanos a 7, se volvería muy costosa la disminución y posterior aumento del pH. Es por esto que se ha optado por la agregación de un reactivo adicional, un quelante para inducir a la formación de un complejo; y de esta manera producir la reacción Fenton a un pH neutro o cercano a este valor (Isch Zambrano, 2016).

Uno de los compuestos más usados para la formación de quelatos es el EDTA, sin embargo, los coloides formados por este reactivo son muy estables, y resultaría compleja su degradación en los sistemas biológicos subsecuentes (Oviedo y Rodríguez, 2003). Es por esto que se usará ácido cítrico el cual es considerado como un agente quelante que puede secuestrar hierro en presencia de amoniaco, además de poseer numerosas aplicaciones por su capacidad para formar complejos solubles (REPAMAR, 1998).

Para la presente investigación, como muestra de agua residual se ha elegido una descarga en la quebrada de "Chasinato" en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua en Ecuador, cuya ubicación se muestra en la Figura 1. Esta descarga de agua posee baja biodegradabilidad debido a que el agua residual doméstica en las cotas superiores se mezclan con lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Ambato, aguas residuales del Parque Industrial de la ciudad, un matadero de animales, entre otros asentamientos domiciliares e industriales.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

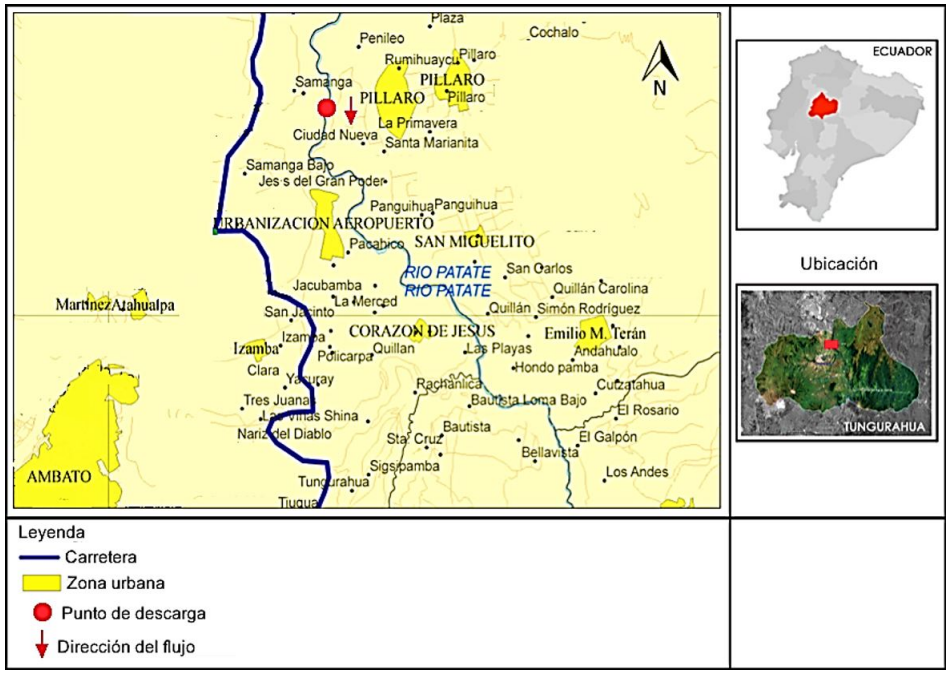


Figura 1. Ubicación del punto de muestreo del agua residual doméstica combinada con agua industrial y lixiviado de relleno sanitario (MTOP, 2010)

Una vez que el agua residual del cuerpo de agua del que se tomó la muestra para la presente investigación es vertida hacia la quebrada Chasinato, esta desemboca en el río Cutuchi; que aguas abajo es usada para regar cultivos en las zonas Quillán Playas, Chiquicha, Bellavista, Los Andes, etc., hasta llegar al río Pastaza.

2 Materiales y métodos

2.1 Agua residual

Las muestras de agua residual se obtuvieron en la quebrada Chasinato en marzo del año 2016; para el análisis se tomaron 40 litros de agua residual en dos recipientes plásticos de 20 litros sellados, transportados al laboratorio para ser analizados.

2.2 Protocolos de análisis

Los protocolos de análisis fueron realizados según el Standard Methods (Pawlowski, 1994) para los parámetros de Demanda química de oxígeno (DQO), con la técnica de reflujo cerrado y volumetría (Standard Methods 5220C), la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) con la técnica de incubación en 5 días y uso de oxímetro (Standard Methods 4500), pH y conductividad eléctrica.

2.3 Reacción Fenton

El procedimiento elegido para la descontaminación experimental es la reacción de oxidación avanzada tipo Fenton modificado. La reacción Fenton fue realizada a 20 °C y a la presión atmosférica de la ciudad de Quito (546 mm Hg).

Las condiciones óptimas del reactivo Fenton se obtienen a valores ácidos de pH (Méndez *et al.*, 2010). La reducción del pH en los efluentes de agua residual doméstica resulta muy costosa debido a los grandes caudales a tratarse; por lo que, como se señaló antes, se ha elegido una técnica de Fenton modificado mediante el uso de un agente quelante, escogiéndose el ácido cítrico, ya que este puede formar quelatos de Fe^{3+} más estables que con Fe^{2+}. La actividad de los quelatos del Fe^{3+} formados con agentes quelantes es baja para disociar el H2O2, formando así complejos menos estables (Seol y I., 2008); los cuales se pueden degradar de mejor forma en la siguiente etapa de la planta de tratamiento de aguas residuales que es el sistema biológico.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La estabilidad de los quelatos es inversamente proporcional al incremento de las constantes de estabilidad (log k), los cuales son de 7,49; 9,4 y 11,85 para los ácidos tartárico, oxálico y cítrico respectivamente (Furia, 1973). De esta manera los quelatos fuertes del ácido cítrico-Fe^{3+} al dar una baja actividad de Fe^{3+} inhiben a las especies de hierro de volver a reducirse a Fe^{2+} cortando el ciclo catalítico de la reacción Fenton (Seol y I., 2008). La presencia de nitrógeno en forma de amoniaco por la contribución del agua residual doméstica mejora la capacidad del ácido cítrico de secuestrar hierro y formar complejos solubles (REPAMAR, 1998), esto puede ocurrir en las fosas séptica bien construidas en donde se generen procesos anaerobios.

Para el tratamiento experimental se procedió a realizar varias mezclas de H_2O_2, $FeSO_4$ y ácido cítrico ($C_6H_8O_7$) en las proporciones indicadas en la Tabla 1 (Zazouli *et al*., 2012; Mashal *et al*., 2012; Barbusiński y Pieczykolan, 2010). No se modificó el pH del agua residual, por lo que este parámetro para todas las mezclas realizadas antes de la reacción Fenton fue de 7,21. Como tratamiento inicial a las mezclas Fenton se realizó una decantación del agua residual durante una hora para remover los sólidos suspendidos. Los ensayos se realizaron por duplicado mezclando el agua residual, $FeSO_4$, H_2O_2 y el $C_6H_8O_7$ a 100 rpm durante un minuto y posteriormente a 30 rpm durante cuatro minutos en un mezclador para prueba de jarras (Figura 2). Los análisis de DBO_5 y DQO se realizaron una hora después de haber parado la mezcla mecánica, ya que este método requiere tiempos de reacción relativamente cortos y utiliza reactivos fáciles de manejar (Bautista *et al*., 2008).

Tabla 1. Mezclas de H_2O_2, $FeSO_4$ y $C_6H_8O_7$ para reacción Fenton modificado.

Mezcla	Reactivo Fenton modificado (mg/L)		
	H_2O_2	$FeSO_4$	$C_6H_8O_7$
1	10	10	10
2	10	10	20
3	10	20	10
4	10	20	20
5	20	10	10
6	20	10	20

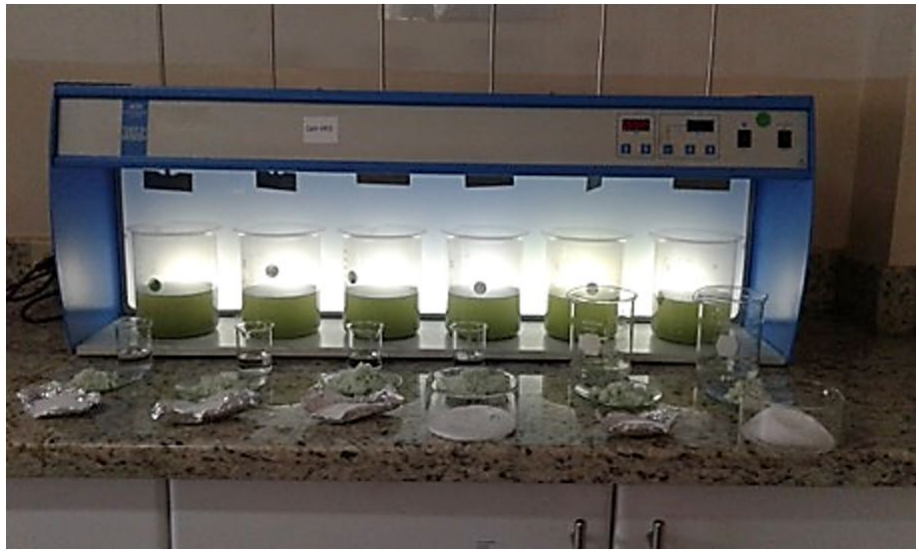


Figura 2. Fotografía de una prueba de jarras realizada con distintas concentraciones de los reactivos de Fenton modificado: H_2O_2, $FeSO_4$ y $C_6H_8O_7$; realizado al agua residual de la muestra.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3 Resultados

Los resultados de los análisis iniciales de calidad de agua se los muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de calidad inicial de agua residual

pH	DQO	DBO_5	Relación DBO_5/DQO
7,21	11750 mg/L	2606 mg/L	0,22

Los resultados de cada mezcla se muestran en la Tabla 3. Como se esperaba, los valores de DBO_5 y DQO siguen siendo elevados. Sin embargo, los valores de biodegradabilidad de la materia orgánica se incrementaron, siendo el valor óptimo en una mezcla 6 con 20 mg/L de H_2O_2, 10 mg/L de $FeSO_4$ y 20 mg/L de $C_6H_8O_7$ a pesar de tener un valor de pH no óptimo para la reacción Fenton clásica. Se debe señalar que en las mezclas 3 y 4 se observaron precipitados de óxidos de hierro, debido posiblemente a una co-precipitación acompañada a una disminución en la remoción de la DQO; por lo que no se realizaron mezclas en mayores proporciones.

Tabla 3. DQO, DBO_5 e índice de biodegradabilidad de las mezclas de H_2O_2, $FeSO_4$ y $C_6H_8O_7$.

Mezcla	DQO (mg/L)	DBO_5 (mg/L)	DBO_5/DQO
1	7598	2279	0,3
2	6536	3007	0,46
3	11331	4079	0,36
4	11532	5420	0,47
5	8257	3055	0,37
6	9716	4761	0,49

4 Discusión

Los resultados obtenidos muestran que la reacción Fenton mejora la relación de biodegradabilidad hasta que se pueda lograr un tratamiento en un sistema convencional; pero, la reacción Fenton modificado por sí misma no alcanza la reducción de la DBO_5 y la DQO para estar debajo de la normativa ecuatoriana vigente a la fecha; la cual, para vertidos en cuerpos de agua dulce señala valores máximos de 100mg/L de DBO_5 y 200 mg/L para DQO (MAE, 2015). La remoción máxima de DQO se da en la mezcla 2, cuya eficiencia es de 44,4%, la remoción máxima de DBO_5 en 12,54% y el aumento óptimo de la biodegradabilidad en la mezcla 6, llegando a un índice de 0,49.

Para todas las demás mezclas existe un incremento de la DBO_5 en función de una disminución del DQO, debido a una descomposición y reorganización de las estructuras en las moléculas orgánicas desde compuestos refractarios a compuestos más biodegradables. En este caso particular, el obtener mayores eficiencias en la remoción de la DQO se debe probablemente a que en el agua residual existen compuestos orgánicos no biodegradables preferentes para la reacción Fenton, similar a lo obtenido en estudios realizados con lixiviados maduros (Lopes de Morais y Peralta Zamora, 2005).

El agua residual doméstica con carga industrial puede ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales con una etapa de oxidación de Fenton modificado al inicio del sistema; que con los datos tomados en campo ingresarían con una DQO y DBO_5 de 11750 mg/L y 2606 mg/L respectivamente; y al pasar por la etapa de oxidación de Fenton modificado estos datos disminuirían a una DQO y DBO_5 de 6536 mg/L y 3007 mg/L respectivamente (Figura 3).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

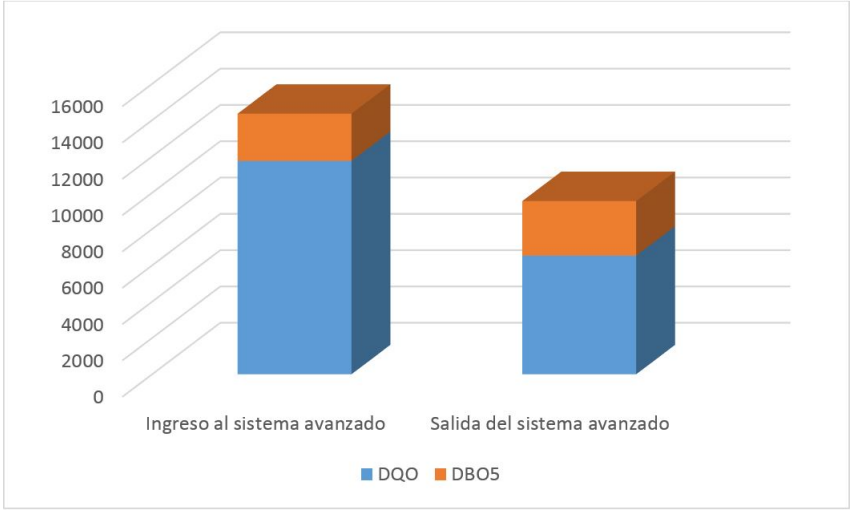


Figura 3. Gráfico de la disminución de DQO, aumento de la DBO_5 medidas en mg/L en la concentración óptima de reactivo Fenton modificado.

En resumen, los resultados del presente trabajo demuestran la idoneidad del proceso Fenton para mejorar el índice de biodegradabilidad del agua residual doméstica con carga industrial. Los resultados demuestran que las aguas residuales domésticas mezcladas con aguas industriales y de lixiviados presentan relaciones de DBO_5/DQO bajas; por lo que el proceso de oxidación avanzada no debe realizarse como tratamiento final a un sistema de tratamiento biológico; sino por el contrario, previo a un tratamiento aerobio o anaerobio (Lopes de Morais y Peralta Zamora, 2005). La ubicación del sistema de tratamiento de oxidación avanzada estará entre el sistema de tratamiento físico y el tratamiento biológico, como lo indica la Figura 4; con esto se evita el gasto de reactivos para la oxidación de materia sólida no suspendida y que es separada en el sistema de tratamiento físico de tamizado y desarenado.

Figura 4. Ubicación del sistema de tratamiento avanzado en una planta de tratamiento de agua residual convencional.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

5 Conclusiones

Con los datos presentados se puede concluir que: Las condiciones óptimas para la reacción Fenton fueron $FeSO_4/H_2O_2$ = 1 y $C_6H_8O_7/H_2O_2$ = 2; con la colocación de 10 mg/L de H_2O_2. Con estas relaciones la carga orgánica del agua residual se redujo en los parámetros de la DQO y la DBO_5 en eficiencias del 44,4% y el 12,54% respectivamente.

Asimismo, se encontró que la reacción Fenton modificado oxidó de manera preferencial a la materia orgánica no biodegradable del agua residual; lo cual aumentó el índice DBO5/DQO de 0,22 a 0,46, y por tanto el agua residual se puede tratar en un sistema convencional.

Finalmente, la implementación de un proceso de tratamiento de oxidación avanzada con Fenton modificado puede ubicarse entre el sistema de tratamiento físico y el sistema de tratamiento biológico, permitiendo prolongar la vida útil de los sistemas de depuración convencionales y con esto mantener la inversión pública desembolsada en construirlos.

Agradecimientos

Este proyecto es financiado por la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Quito- Ecuador, sin este apoyo no hubiera sido posible llevar a buen fin el mismo.

Referencias

Barbusiński, K y B. Pieczykolan. 2010. "COD Removal From Landfill Leachate Using Fenton Oxidation and Coagulation." *Architecture Civil Engineering Environment* 3(4):93–100. [en línea] disponible en: https://goo.gl/EVHG6C.

Bautista, P, A. F Mohedano, J. A Casas, J. A Zazo y J. J. Rodriguez. 2008. "An overview of the application of Fenton oxidation to industrial wastewaters treatment." *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 83(10):1323–1338. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/0048--9697(94)90332--8.

English, A. 2010. *Assessment Current Wastewater Treatment and Disposal in Gallatin Country*. Gallatin County Planning Board. [en línea] disponible en: https://goo.gl/mFqzZ5.

Furia, T. E. 1973. *Handbook of Food Additives.* CRC Press. [en línea] disponible en: https://goo.gl/xHz6f6.

Gil, M, J, A. M Soto, J. I Usma y O. D. Gutiérrez. 2013. "Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos." *Producción+ limpia* 7(2):52–43. [en línea] disponible en: https://goo.gl/pHQd36.

Glaze, W. H, J-W Kang y D. Chapin. 1987. "The Chemistry of Water Treatment Processes Involving Ozone, Hydrogen Peroxide and Ultraviolet Radiation." *Ozone: Science & Engineering* 9(4):335–352. [en línea] doi: https://doi.org/10.1080/01919518708552148.

Isch Zambrano, T. A. 2016. *Estudio de un sistema para el tratamiento de efluentes contaminados con compuestos surfactantes por un método Fenton y Fenton Modificado con un agente quelante (EDTA).* Tesis de Grado. Escuela Politécnica Nacional, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/FdcCC4.

Jouravlev, A. 2004. *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI; recursos naturales e infraestructura.* Publicación de las Naciones Unidas. [en línea] disponible en: https://goo.gl/kEurbJ.

Lentini, E. 2015. *El futuro de los servicios de agua de saneamiento en América Latina*. Banco Interamericano de Desarrollo, BID. [en línea] disponible en: https://goo.gl/MTX7XK.

Lopes de Morais, J y P. Peralta Zamora. 2005. "Use of advanced oxidation processes to improve the biodegradability of mature landfill leachates." *Journal of Hazardous Materials* 123(1):181–186. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.03.041.

Lucho-Constantino, C. A, S. A Medina-Moreno, R. I Beltrán-Hernández, B Juárez-Cruz, G. A Vázquez-Rodríguez y L. Lizárraga-Mendiola. 2015. "Diseño de fosas sépticas rectangulares mediante el uso de la herramienta FOSEP." *Revista mexicana de ingeniería química* 14:757–765. [en línea] disponible en: https://goo.gl/tvzo1u.

MAE. 2015. "Acuerdo Ministerial 061, Tabla 10, del Anexo 1 del Libro VI del TULSMA: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua." Ministerio del Ambiente, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/LAed9i.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Martiínez-Huitle, C, A De Battisti, S Ferro, S Reyna, M Cerro y M. Quiroz. 2008. "Removal of the methamidophos pesticide from aqueous solution by electrooxidation using Pb/PbO_2, Ti/SnO_2 and Si/BDD electrodes." *Environmental Science and Technology* 42(18):6929–6935. [en línea] doi: https://doi.org/10.1021/es8008419.

Mashal, A, J Abu-Daherieh, M Ahmad, Aiouache F y D. Rooney. 2012. Fenton's catalytic oxidation process to treat landfill leachate. In *The Sixth Jordan International Chemical Engineering Conference. [en línea] disponible en: https://goo.gl/j4481Y*.

Méndez, R, E Chan-Gutiérrez, E Castillo-Borges, E Vázquez-Borges y A. Espadas-Solís. 2012. "Digestión anaerobia de efluentes de fosas sépticas." *Ingeniería, Investigación y tecnología* 13:339–349. [en línea] disponible en: https://goo.gl/A1xAC9.

Méndez, R, R García, E Castillo y M. Sauri. 2010. "Tratamiento de lixiviados por oxidación Fenton ." *Ingeniería e Investigación* 30:80–85. [en línea] disponible en: https://goo.gl/Jo5M2p.

Metcalf y Eddy. 2003. *Ingeniería de aguas residuales.* 4ta ed. New York: McGraw Hill Eduaction.

MTOP. 2010. "Coordinación General de Planificación." Ministerio de Transporte y Obras Públicas, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/zUQkhf.

Ortiz de Zárate, J. M y L. A. Aguila Apodaca. 1997. "La depuración biológica de efluentes industriales: centro de tratamiento de residuos industriales de Galicia." *Ingeniería Química* (336):147–153. [en línea] disponible en: https://goo.gl/atqsFk.

Oviedo, C y J. Rodríguez. 2003. "EDTA: the chelating agent under environmental scrutiny." *Química Nova* 26(6):901–905. [en línea] doi: http://dx.doi.org/10.1590/S0100--40422003000600020.

Pawar, V y S. Gawande. 2015. "An overview of the Fenton Process for Industrial Wastewater." *IOSR-JMCE* pp. 127–136. [en línea] disponible en: https://goo.gl/8Num3F.

Pawlowski, L. 1994. "Standard methods for the examination of water and wastewater,." *Science of The Total Environment* 142(3):227–228. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/0048--9697(94)90332--8.

REPAMAR. 1998. *Impacto ambiental de productos químicos auxiliares usados en la industrial textil Argentina*. Red Panamericana de Manejo Ambiental de Residuos. Informe Final. [en línea] disponible en: https://goo.gl/gDETSz.

Seol, Y y Javandel. I. 2008. "Citric acid-modified Fenton's reaction for the oxidation of chlorinated ethylenes in soil solution systems." *Chemosphere* 72(4):537–542. [en línea] doi: https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.052.

Somich, C, M Muldoon y P. Kearney. 1990. "On-site treatment of pesticide waste and rinsate using ozone and biologically active soil." *Environmental Science & Technology* 24(5):745–749. [en línea] doi: https://doi.org/10.1021/es00075a021.

UNESCO. 2017. "¿Son las aguas residuales el nuevo "oro negro"?" Presentación pública del Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. [en línea] disponible en: https://goo.gl/3BmScu.

Zazouli, M. A, Z Yousefi, A Eslami y M. B. Ardebilian. 2012. "Municipal solid waste landfill leachate treatment by fenton, photo-fenton and fenton-like processes: Effect of some variables." *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering* 9(1):3. [en línea] doi: https://doi.org/10.1186/1735--2746--9--3.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.09

Artículo científico / Scientific paper

Remediación

CC BY NC SA

ABYA YALA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia

Removal of hydrogen sulfide by microorganisms on activated sludges in the wastewater of food industry

Luis Miguel Santillán Quiroga, Lorena Paola Paredes Pacheco

Escuela Superior Politécnica del Chimborazo ESPOCH, Código Postal: EC060155. Dirección: Panamericana Sur km 1 1/2, Riobamba-Ecuador

*Autor para correspondencia: luis.santillanquiroga@espoch.edu.ec

Artículo recibido el 12 de octubre de 2017. Aceptado, tras revisión el 24 de febrero de 2018. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

La importancia del siguiente trabajo radica en implementar un tratamiento de remoción de H_2S con un bajo impacto ambiental. El objetivo fue el de evaluar microorganismos eficientes para la remoción de ácido sulfhídrico sobre lodos activados de las aguas residuales industriales. Se construyó un biofiltro con microorganismos eficientes, lodo activado y material filtrante. Se inocularon durante tres semanas en lodos 21 litros de microorganismos eficientes activado, controlando parámetros como pH, temperatura, humedad, oxígeno y luz solar, garantizando las condiciones aptas de desarrollo de bacterias fotosintéticas, ácido lácticas y levaduras. El muestreo del agua residual se realizó en la caja de revisión más cercana al punto de descarga al alcantarillado de La Ibérica, y para su análisis a la salida del biofiltro, tomando una muestra con tres repeticiones cada semana, durante 21 días, para conocer la concentración inicial, intermedia y final de H_2S y el porcentaje de remoción alcanzado en el tratamiento. Los resultados de la investigación dictaminaron que los microorganismos eficientes aumentaron la carga microbiana de los microorganismos endógenos en el lodo, consiguiendo un mejor crecimiento de la biopelícula y logrando la reducción de la concentración de H_2S de 3,68 mg/L a 0,45 mg/L, alcanzando un porcentaje de remoción del 70,35%. El presente trabajo analiza que a mayores tiempos de retención se da una mejor actuación de microorganismos eficientes en el tratamiento. La utilización de microorganismos eficientes en la remoción de H_2 S, resulta rentable por sus tiempos cortos de actuación y bajos costos de aplicación.

Palabras claves: remoción, ácido sulfhídrico, microorganismos eficientes, muestreo, lodo activado, biopelícula.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

The importance of this work is the implementation of a natural treatment with low environmental impact. The objective was to evaluate effective microorganisms for the removal of hydrogen sulfide on activated sludges of the industrial wastewaters. For the experimental part of the research a biofilter was built with effective microorganisms, activated sludge and filter material. 21 liters of activated EM were inoculated on sludges for over 3 weeks, controlling parameters such us pH, temperature, humidity, oxygen and sunlight, guaranteeing the optimal conditions for the develop of photosynthetic bacteria, lactic acid and yeast. Sampling of wastewater was carried out in the closest manhole to the point of discharge of the sewage system of La Iberica and for its analysis at the biofilter output, taking a sampling with three repetitions each week, for 21 days, to know the initial, intermediate and final concentration of H_2S and the removal percentage reached during the treatment. Research findings showed that the effective microorganisms increased the microbial load of the endogenous microorganisms in the sludge, obtaining a better growth of the biofilm and achieving the reduction of the H_2S concentration from 3.68 mg/L to 0.45 mg/L, reaching a removal percentage of 70.35%. This work analyses that to a greater retention times, a better performance of the effective microorganisms is given. The use of effective microorganisms in the removal of H_2S is profitable since the time of action is short and the costs of application are low.

Keywords: Removal, Hydrogen sulfide, efficient microorganism, sampling, activated sludge, biofilm.

Forma sugerida de citar: Santillán Quiroga, L. M. y Paredes Pacheco, L. P. 2018. Remoción de ácido sulfhídrico por microorganismos sobre lodos activados en aguas residuales de la industria alimenticia. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):112-123. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.09.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

El ácido sulfhídrico se genera a partir de una reacción biológica en los sistemas de desagüe o plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo el causante de la corrosión de los sistemas de alcantarillado (Bas, 2017). Las aguas residuales con rangos de pH por debajo de 5.0 generan un impacto ambiental, ya que al ser descargadas directamente a los ríos provocan malos olores y la pérdida de su biota nativa (Fernández-Alba *et al*., 2006).

La mayor parte de la generación del H_2S ocurre en la capa de lodo que se forma en las paredes de la tubería o en los depósitos que se forman en la base de ésta. Si el agua servida contiene poco o nada de oxígeno disuelto, la difusión del H_2 S se produce debido a las condiciones anaeróbicas existentes (Arriagada Monreal, 2008).

Actualmente en el Ecuador los procesos utilizados para la remoción de ácido sulfhídrico en las aguas residuales envuelven tratamientos químicos en gran medida como la utilización de coagulantes, productos clorados, la fotocatálisis con luz, un semiconductor (TiO_2) como catalizador y un agente oxidante como el peróxido de hidrogeno (H_2O_2) que involucran costos elevados y menor accesibilidad hacia todos los sectores (Varela Reyes, 2013). Sin embargo, hoy en día, existen otros métodos biotecnológicos que involucran la utilización de microorganismos para su tratamiento biológico, buscando aumentar la capacidad de implementar procesos más amigables con el ambiente (Szymanski y Patterson, 2003).

La importancia de esta investigación radica en utilizar microorganismos eficientes como una alternativa accesible frente al problema de la contaminación en el área del tratamiento biológico de las aguas residuales, no solo por involucrar precios económicos sino también por sus tiempos cortos de remoción.

La Tecnología de Microorganismos Eficientes™ (EM ™ por sus siglas en inglés) es un tratamiento natural de menor impacto desarrollado por el Prof. Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, en el sur de Japón, a partir de 1982 (EEAITAJ, 2013). Originalmente, fue utilizado como alternativa para los fertilizantes químicos y pesticidas, sin embargo, el uso de la Tecnología EM™, en las dos últimas décadas, se ha expandido de la agricultura al tratamiento de aguas y efluentes, control de malos olores e innumerables tratamientos industriales (Madigan *et al*., 2004).

El presente trabajo aspira ser un documento con aporte práctico y teórico para las futuras investigaciones en la evaluación y aplicación de microorganismos eficientes para la reducción de ácido sulfhídrico y demás compuestos contaminantes de las aguas residuales industriales en nuestro país.

Al desarrollarse el presente trabajo investigativo los beneficiarios directos serán principalmente las industrias, al obtener un sistema de tratamiento biológico de menor costo que les permita reducir un mayor porcentaje de ácido sulfhídrico antes de su descarga, en menor tiempo y cumpliendo la norma ambiental vigente.

2 Materiales y métodos

2.1 Técnicas e instrumentos de tabulación de datos

El análisis estadístico se realizó en el programa SPSS, mediante pruebas no paramétricas de Kolmogorov-Smirnov de una muestra y ANOVA de un factor, permitiendo analizar e interpretar los datos cuantitativos. Según la Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, Libro VI Anexo 1, el límite máximo permisible de H_2S para aguas dulces, frías o cálidas, y en aguas marinas y de estuario es 0,0002 mg/l.

Para la cuantificación de H_2S se utilizó el método de azul de metileno (Standard Methods 4500-S2-D/HACH 8131), se basa en la reacción de sulfuros de hidrógeno y sulfuros metálicos solubles en ácido con N, N-dimetil-p-fenilendiamina sulfato para producir azul de metileno. La intensidad del color azul es proporcional a la concentración de sulfuro presente en la muestra. La lectura se realiza en un espectrofotómetro a 664 nm.

2.2 Etapas de la investigación

2.2.1 Primera etapa: Proceso de activación e inoculación de microorganismos eficientes

Los microorganismos del producto EM·1, está compuesto por bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas y levaduras, que se encuentran en estado de latencia, para la activación se siguió la "Guía Técnica de la Tecnología EM" de EMRO (EMPROTEC, 2016) siendo AGEARTH su representante oficial en Ecuador.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

A los 7 días de su fermentación los microorganismos antes mencionados están activados y listo para utilizarse siempre y cuando presenten un pH por debajo de 4.00 un olor agridulce agradable y un cambio de coloración de café oscuro a café anaranjado (EMPROTEC, 2016).

La caracterización microbiológica del lodo utilizado como sustrato, se realizó antes y después de incorporar los microorganismos eficientes a la unidad de análisis, para describir la concentración tanto de patógenos: mohos y levaduras, coliformes fecales y totales como de microorganismos mesófilos aerobios presentes (Galvis Toro y Rivera Guerrero, 2013). Para la evaluación de estos parámetros microbiológicos se utilizó la misma metodología establecida en la norma, variando únicamente en los medios de cultivo, las placas utilizadas, tipo de siembra y temperatura de incubación (INEN, 2013).

Durante las tres semanas de tratamiento se inoculó 1 litro de Microorganismos Eficientes activado cada 6 horas en el lodo y se revolvió cada semana para permitir su aireación.

2.2.2 Segunda etapa: Muestreo del agua residual antes del tratamiento

La toma del agua residual se llevó a cabo en la caja de revisión más cercana al punto de descarga al alcantarillado de la industria procesadora de alimentos y su traslado fue inmediato para su posterior refrigeración y almacenamiento.

Para los análisis iniciales de laboratorio, se tomaron 3 muestras, cada una con 3 repeticiones, de un total de 15 muestras recolectadas, antes de hacer pasar el agua residual por la unidad de análisis para conocer la concentración inicial de H_2S presente en las aguas a tratarse (Coronel Pazmiño, 2015).

El proceso de muestreo se realizó en tres fases, en la primera fase, se recolectó de 15 muestras una muestra de 3 litros, dándonos un total de 45 litros, en la segunda fase se obtuvieron 15 litros que fueron recogidos por 5 días, en la tercera fase, al igual que la segunda, se recogieron 15 litros, en 5 días de muestreo, dándonos un total de 75 litros de agua residual industrial para ser utilizada en la investigación.

2.2.3 Tercera etapa: Construcción de la unidad de análisis (Biofiltro)

La unidad se construyó en base a las dimensiones establecidas de un biofiltro a escala de laboratorio diseñado por (Higuera, Arroyave y Flores, 2009) para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros. Con esta referencia, se procedió a la construcción de un biofiltro con las siguientes dimensiones, como se muestra en la Figura 1: altura 37.2 cm, largo 32 cm y ancho 31.3 cm.

El material utilizado fue vidrio transparente de 8 mm de espesor con un orificio de 8 cm de diámetro en el centro de su base para la salida del agua. Se colocó además una malla para evitar el paso de sólidos, una llave de paso para controlar el flujo de agua, cuatro mangueras con orificios colocadas en cada esquina del biofiltro para la aireación de los lodos y una manguera con agujeros simétricos para que el agua se distribuya hacia toda la unidad de análisis que contiene lodos activados, EM (Microorganismos Eficientes) y un material filtrante.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

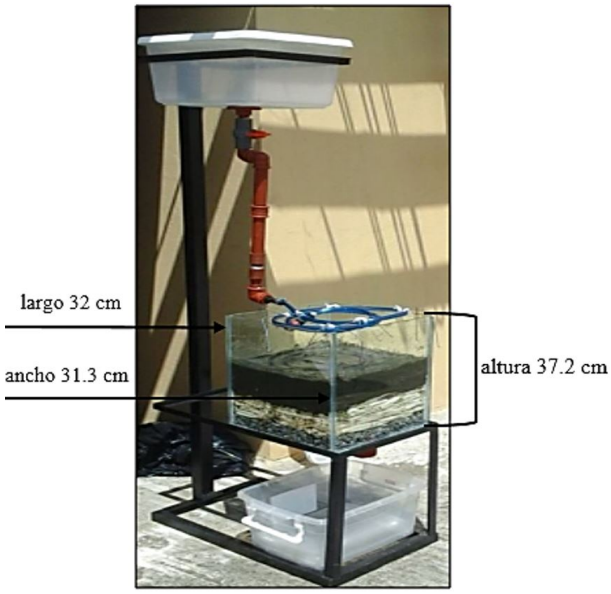


Figura 1. Biofiltro a escala de Laboratorio.

2.2.4 Cuarta etapa: Establecimiento de las condiciones aptas para los microorganismos eficientes en el Biofiltro

Una vez construida la unidad de análisis se procedió a monitorear las variables de control aptas dentro del biofiltro para el desarrollo y multiplicación de los microorganismos eficientes, considerándose como los más importantes pH, temperatura, humedad.

Control de pH

Los microorganismos eficientes contienen bacterias fotosintéticas, ácido lácticas y levaduras que necesitan de un pH ácido para su correcto desarrollo y multiplicación (Moreno y Velarde, 2016). Por lo tanto, se realizó un control antes y durante el tratamiento para asegurar que el pH del lodo se mantenga entre un rango de acidez constante para asegurar la supervivencia de los microorganismos dentro del biofiltro.

La lectura del pH se tomó con la ayuda de tiras de papel indicadoras de pH. Este parámetro se monitoreo sumergiendo la tira sobre una muestra acuosa fresca de lodo (cada semana) y se comparó el color obtenido con la escala contenida en el empaque para comparar su grado de acidez o alcalinidad (UTE, 2014).

Control de temperatura

El monitoreo de la temperatura se realizó diariamente con la ayuda de un termómetro digital, teniendo en cuenta que a temperaturas altas los microorganismos actúan con mayor eficiencia, por lo que este parámetro debe oscilar de 30 - 45 °C durante todo el tratamiento (Lázaro, 2014). Para mantener una estabilidad adecuada dentro de la unidad de análisis, y considerando que el clima del lugar es variable, se montó un invernadero, que ayudó a controlar dicho parámetro (Galvis Toro y Rivera Guerrero, 2013).

Control de humedad

Este parámetro es importante ya que el lodo debe mantenerse siempre húmedo dentro del biofiltro, ya que si la humedad baja, los microorganismos no se desarrollan por no tener el agua suficiente para su metabolismo, por lo que se considera que la humedad debe estar entre 50 – 70 % (Salinas Carrillo y Huacollo Álvarez, 2011).

Para determinar la humedad se consideró realizar el método empírico de la prueba de puño (Novoa *et al.*, 2008). La técnica nos dice que si el sustrato apretado no toma la forma del puño cerrado y no gotea, la humedad aproximada es menor al 70 %, por el contrario si al agarrar una cantidad del sustrato que alcanza con el puño de una mano se escu-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

rren más de 10 gotas en 1 minuto, significa que la humedad está en un 80 % aproximadamente.

Teniendo en cuenta la técnica antes detallada se tomó con la mano una muestra de lodo del centro del biofiltro y se apretó fuertemente el mismo, al salir un hilo de agua continuo, se consideró que la muestra se encuentra entre un rango correcto de humedad (>70 % aproximadamente).

2.2.5 Quinta etapa: Muestreo del agua tratada

Durante el tratamiento con microorganismos eficientes, se tomaron tres muestras de agua filtrada, cada una con 3 repeticiones. El muestreo se realizó en frascos de plástico de 1 litro, rotulados de la siguiente manera: M1 (EM), para la muestra 1 del tratamiento con microorganismos eficientes; M2 (EM), muestra 2 del tratamiento con microorganismos eficientes y M3 (EM), muestra 3 del tratamiento con microorganismos eficientes (Coronel Pazmiño, 2015).

El primer muestreo se realizó en la semana uno de tratamiento, se tomó la muestra de agua filtrada, con 3 repeticiones para conocer la concentración de ácido sulfhídrico y se realizaron monitoreos adicionales de pH, conductividad y turbidez, para evaluar la incidencia de dichos parámetros en la reducción de H_2S. El segundo y tercer muestreo se realizó cada 11 días, ya que en este tiempo los microorganismos se estabilizan (Jusoh, Manaf y Latiff, 2013).

3 Resultados y discusión

3.1 Caracterización microbiológica del lodo activado

Como se muestra en la Figura 2, se realizó un análisis antes de inocular los microrganismos eficientes en el lodo (día 1) que permitió identificar la presencia de mesófilos aerobios, coliformes totales, coliformes fecales, mohos y levaduras, de la misma manera se realizó un análisis después de los 15 días de haber empezado con el tratamiento, con el fin de evaluar el comportamiento que tuvieron los EM (Microorganismos Eficientes) ante los cambios de las variables de control. El resultado se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros microbiológicos evaluados en el lodo activado.

	(UFC/mL)				
Tiempo (días)	Mesófilos aerobios	Coliformes totales	Coliformes fecales	Mohos	Levaduras
1	580	340	Presencia	Presencia	9200
15	5200	110	Ausencia	Ausencia	10900

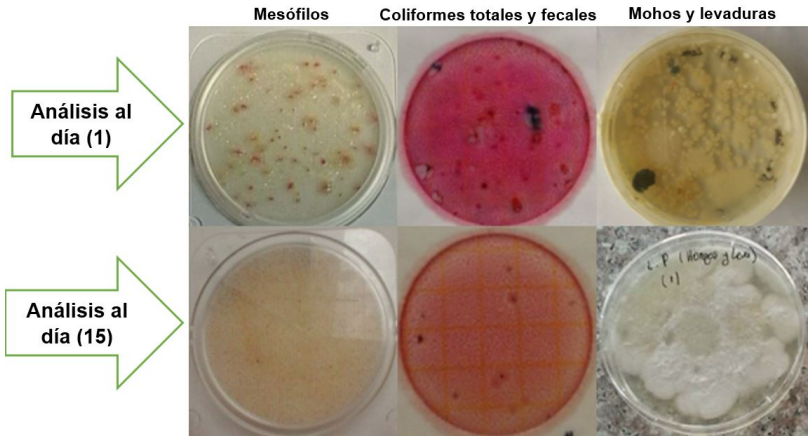


Figura 2. Crecimiento en placa de microorganismos.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.2 Control de condiciones aptas para la activación y desarrollo de los microorganismos eficientes en el lodo activado.

La Figura 3 recoge los resultados del comportamiento de pH y temperatura durante la activación y el período de 21 días en los que se llevó a cabo el control para su adaptación. En cuanto a la activación, se cumple una relación inversamente proporcional, ya que mientras más días pasan para su fermentación el pH disminuye. A partir del cuarto día la fermentación se acelera mostrando una disminución de pH significativa de 4,55 mientras que al séptimo día alcanza un valor de 3,33. Por lo tanto el producto de Microorganismos Eficientes al día 7 cumple con un rango de acidez menor a 4,00 considerado como óptimo para su activación y apto para su utilización (Organic Fruits, 2016).

La temperatura a los primeros días indica variaciones de 28 a 30 °C, mientras que al pasar el tiempo se visualizan variaciones de 32 a 35 °C, como se visualiza en la Figura 3. La línea de tendencia muestra que la temperatura aumenta y disminuye a un ritmo constante. Por lo tanto, a pesar de las variaciones ambientales externas, se observa una tendencia a mantener condiciones estables de temperatura cálida de alrededor de 30 - 35 °C durante el tratamiento.

En cuanto al pH tiende a mantener un rango de acidez constante, comprendida entre un valor de 4-5, con una tendencia lineal durante los 21 días de tratamiento, lo que hace del sustrato un medio adecuado para el crecimiento de microorganismos fotosintéticos, acido lácticos y levaduras (García *et al*., 2008).

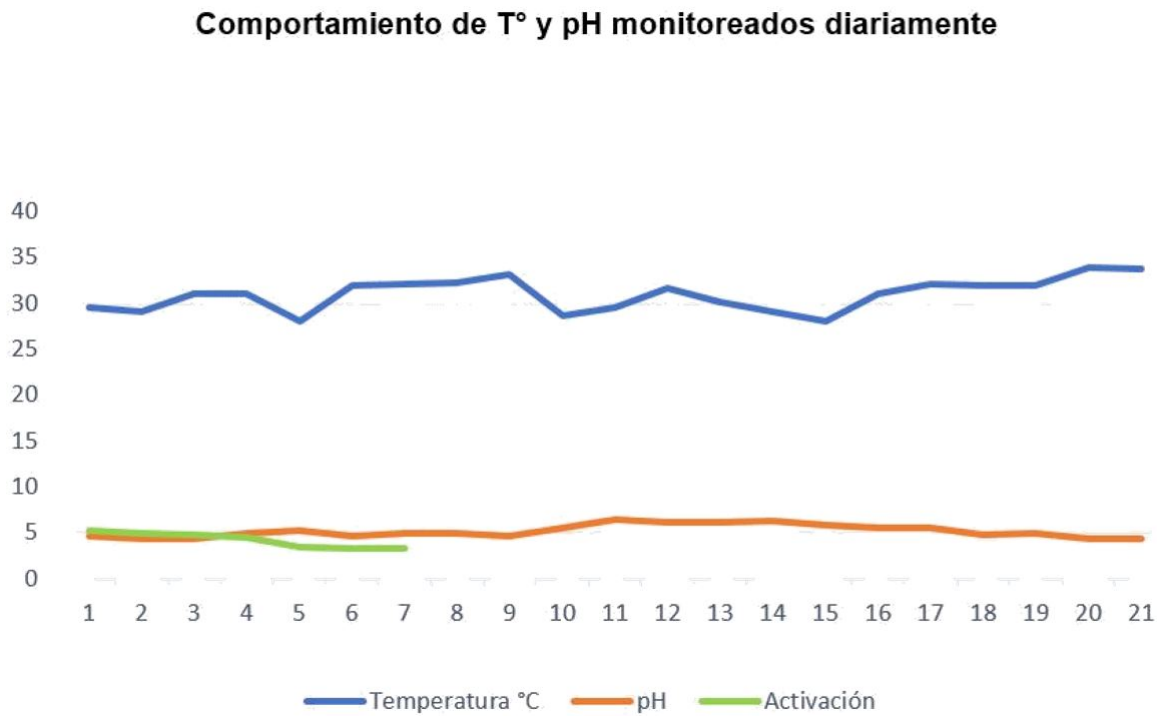


Figura 3. Comportamiento de T° y pH monitoreados diariamente.

4 Análisis de la concentración de ácido sulfhídrico

Con el fin de comprobar si el tratamiento con microorganismos eficientes (factor), durante las tres semanas, tuvo resultados favorables en la remoción de ácido sulfhídrico de las aguas residuales se realizó un diseño completamente aleatorio en el programa SPSS (Tabla 2).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 2. Análisis de Anova de un factor.

ANOVA de un factor

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
H2S	Inter-grupos	11,416	2	5,708	24,566	0
	Intra-grupos	1,394	6	0,232		
	Total	12,81	8			
pH	Inter-grupos	6,883	2	3,442	6883,4	0,000
	Intra-grupos	0,003	6	0,001		
	Total	6,886	8			
Conductividad	Inter-grupos	16,692	2	8,346	23473,63	0,000
	Intra-grupos	0,002	6	0,000		
	Total	16,694	8			
Turbidez	Inter-grupos	18716,67	2	9358,333	1238,603	0,000
	Intra-grupos	45,333	6	7,556		
	Total	18762	8			

En este caso, Anova de un factor está determinado por el valor de significancia, que es aproximadamente 0 en el análisis de las variables H_2S (p=0.001), pH (p=0.000), conductividad (0.000) y turbidez (p=0.000); por lo tanto, al tener un resultado de p<0.05, se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa, lo que muestra que existen diferencias entre las semanas de tratamiento, con al menos un par de comparaciones de todas las posibles. Esto quiere decir que las semanas influyen sobre la concentración de ácido sulfhídrico, pH, conductividad y turbidez en las aguas residuales a tratarse.

Tabla 3. Análisis descriptivo de la variable H_2 S por semanas de tratamiento con EM

Descriptivos
H2S

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
1	3	3,170	0,815	0,470	1,145	5,194	2,237	3,687
2	3	1,426	0,150	0,086	1,052	1,800	1,274	1,570
3	3	0,446	0,100	0,058	0,196	0,696	0,346	0,541
Total	9	1,681	1,265	0,421	0,708	2,653	0,345	3,688

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

En la Tabla 3, se muestra las medias del H_2S en cada semana de tratamiento con microorganismos eficientes, en la que se observa que tienen diferencias de una semana en relación a la otra, siendo la media de la semana 3 la que presenta un valor menor en comparación de la semana uno y dos. En cuanto a la desviación típica se presentan similares en la semana 2 y 3, a excepción de la semana uno en donde se observa una desviación típica menor. El intervalo de confianza del 95% muestra estimaciones por intervalos de la ubicación de la verdadera media poblacional del H_2S en relación con cada una de las semanas de tratamiento, con los valores mínimos y máximos del tiempo en semanas que se llevó a cabo el tratamiento.

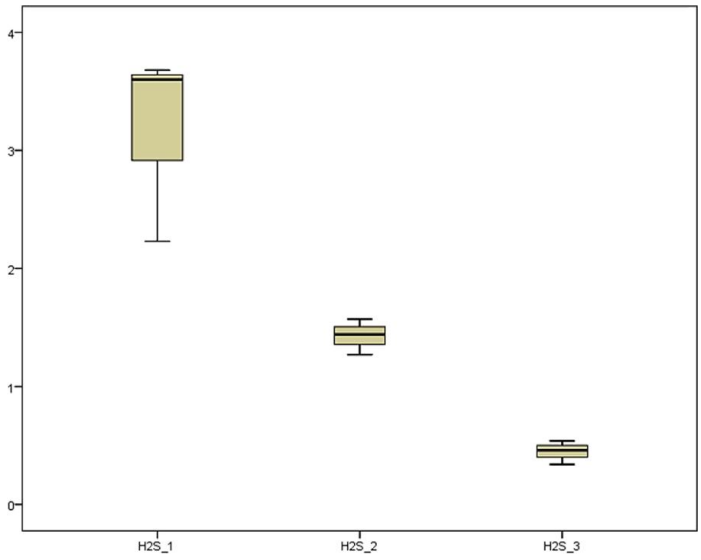


Figura 4. Comparativo de la concentración H_2S durante tres semanas de tratamiento con Microorganismos Eficientes.

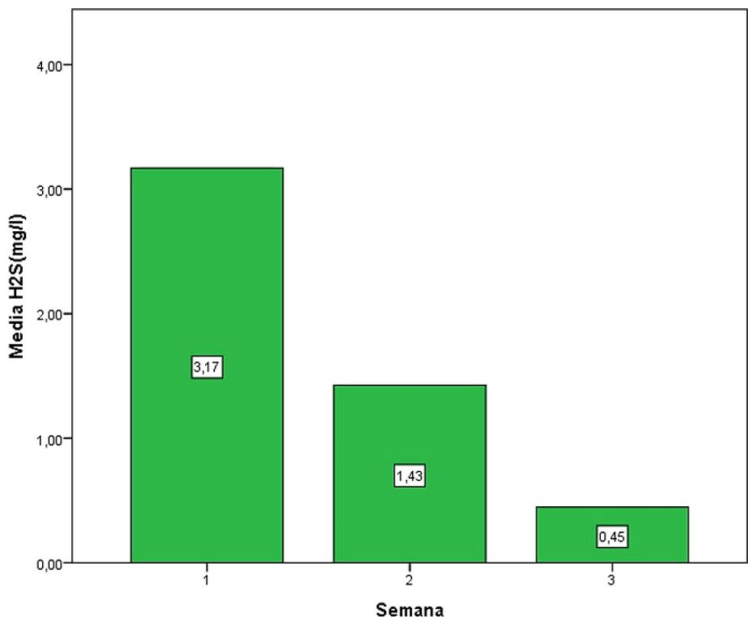


Figura 5. Media de la concentración de H_2S durante tres semanas de tratamiento con Microorganismos Eficientes.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

En la Figura 5 se puede observar la media de la concentración de H_2S analizado en aguas residuales de una industria procesadora de alimentos, en relación con las 3 semanas de tratamiento con microorganismos eficientes.

En la semana tres se presenta un valor de 0,45 mg/L de concentración de H_2S (TRH=12 horas), considerándose significativamente bajo en comparación de la semana una y dos, con valores de 3,17 y 1,43 mg/L respectivamente, con un TRH de 6 horas en las dos semanas.

En las tres semanas de tratamiento existió reducción de la concentración de H_2S, sin embargo, en la semana uno su reducción fue baja, debido a que los microorganismos fueron poblando y adaptándose al medio (Rehman, Farooqi y Ayub, 2009), siendo así que en la semana dos ya se observan cambios en la reducción de la concentración más altos, la semana tres fue la que mayor impacto tuvo, logrando reducir de una concentración inicial de 3,17 mg/L a una concentración final de 0,45 mg/L, obteniéndose un porcentaje de remoción del 70,35%; lo que nos indica que el biofiltro en el transcurso del tiempo alcanza mayor estabilidad y mejor crecimiento microbiano en la biopelícula (Welter *et al*., 2010) especialmente de bacterias sulfato-reductoras, bacterias fotosintéticas, ácido lácticas y levaduras, que aumentan su carga microbiana gracias a la materia orgánica nativa del lodo activado, siendo muy viable para que dicha materia orgánica sea retenida en las capas del biofiltro, evitando ser arrastrada al hacer pasar una nueva carga de agua residual por el biofiltro.

Los parámetros adicionales como pH, conductividad y turbidez estuvieron directamente relacionados con la reducción de ácido sulfhídrico. En cuanto al pH tiene una relación directamente proporcional con el porcentaje de remoción de H_2S; a medida que el porcentaje de remoción aumenta, el pH disminuye (Cardona Gómez y García Galindo, 2008). Al analizar la conductividad, presentó un aumento debido a que las actividades de los microorganismos eficientes contribuyen al incremento de nutrientes, iones en solución y transmisión de calor debido a la misma temperatura ambiental (Zamora *et al*., 2009). La reducción de la turbidez determinó que, a partir de los 15 días de haber empezado el tratamiento, existe mayor actividad de los microorganismos, ya que su adhesión estaba bien desarrollada, lo que es explica la reducción significativa de la concentración de H_2S en la semana tres del tratamiento (Peérez Zúñiga, 2016).

5 Conclusiones

Se determinó que los microorganismos contenidos en el producto EM (Microorganismos Eficientes), actúan en el lodo activado, aumentando la capacidad de formar la biopelícula, y el crecimiento de bacterias encargadas de la remoción del H_2S en las aguas residuales industriales.

Para asegurar el desarrollo y supervivencia de los microorganismos eficientes, sobre el lodo activado, se controló durante la investigación un pH ácido con rangos comprendidos entre 5,5-6,5, una temperatura cálida de 30-45 °C, humedad del 60%.

Se analizó la concentración de ácido sulfhídrico de las aguas residuales industriales, antes y después del tratamiento con microorganismos eficientes, mostrando una concentración inicial de 3,68 mg/L y una concentración final de 0,45 mg/L, obteniendo mayor porcentaje de remoción en la tercera semana de tratamiento, con un valor del 70,35%. El TRH utilizado en la tercera semana fue de 12 horas, por lo que se concluye que manejar mayores tiempos de retención, incrementa la capacidad de remoción en el tratamiento.

Se verificó que la utilización de microorganismos eficientes en aguas residuales, para la remoción de H_2S, resulta rentable por sus tiempos cortos de actuación y bajos costos de aplicación, además que, al ser un tratamiento natural, no causa ningún daño en el medio ambiente.

En el transcurso de la investigación se reveló que el lodo utilizado como sustrato para los EM (Microorganismos Eficientes), redujo la cantidad de patógenos y aumentó el contenido de nutrientes presentes al inicio del tratamiento, concluyendo que el lodo residual por sus características puede ser reutilizado para abonar el suelo en la agricultura.

Agradecimiento

Se agradece a la Industria de Embutidos La Ibérica por los datos proporcionados para la realización de la investigación, por tanto se cita expresamente que no existen intereses comerciales con el producto EM·1, compuesto por bacterias fotosintéticas (10^3), bacterias ácido lácticas (10^4) y levaduras (10^3), utilizados para la investigación ya que simplemente se usaron con un fin investigativo.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Referencias

Arriagada Monreal, A. 2008. *Tecnologías para el tratamiento de olores en aguas servidas*. Tesis de grado. Universidad de Chile. [en línea] disponible en: https://goo.gl/epW2n7.

Bas, E. 2017. "Ingeniería de aguas residuales para combatir el ácido sulfhídrico." Aguasresiduales.info. [en línea] disponible en: https://goo.gl/UsxFVS.

Cardona Gómez, J y L. A. García Galindo. 2008. *Evaluación del efecto de los microorganismos eficaces (EM) sobre la calidad de un agua residual doméstica*. Tesis de grado. Pontificia Universidad Javeriana. [en línea] disponible en: https://goo.gl/xBc2vt.

Coronel Pazmiño, N. P. 2015. *Diseño e implementación a escala de un biofiltro Tohá en la ESPOCH para la depuración de aguas residuales domésticas procedentes de la comunidad Langos La Nube*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. [en línea] disponible en: https://goo.gl/h4rXP8.

EEAITAJ. 2013. *Micoorganismos Eficaces EM*. Estación Experimental Agropecuaria para la Introducción de Tecnologías Apropiadas de Japón. [en línea] disponible en: https://goo.gl/PXqAuy.

EMPROTEC. 2016. *Guia de la Tecnología EM.* EM Producción y Tecnología S. A. [en línea] disponible en: https://goo.gl/VZSo7H.

Fernández-Alba, A. R, P Letón García, R Rosal García, M Dorado Valiño, R Villar Fernández y J. M. Sanz García. 2006. *Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales*. Informe de vigilancia tecnológica. Elecé Industria Gráfica. [en línea] disponible en: https://goo.gl/epW2n7.

Galvis Toro, J y X. Rivera Guerrero. 2013. *Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (ptari) de la empresa jugos hit de la ciudad de pereira*. Tesis de Grado. Universidad Tecnológica de Pereira. [en línea] disponible en: https://goo.gl/GNTZUM.

García, Y, A Elías, N Albelo, F. R. Herrera, O Núñez y O. Dieppa. 2008. "Crecimiento de bacterias ácido lácticas y levaduras durante la fermentación líquida de excretas de pollos de ceba para la obtención de probióticos." *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* 42(2):195–197. [en línea] disponible en: https://goo.gl/GWYdBt.

Higuera, O, J Arroyave y L. Flores. 2009. "Diseño de un biofiltro para reducir el índice de contaminación por cromo generado en las industrias del curtido de cueros." *DYNA* 76:107–119. [en línea] disponible en: https://goo.gl/jbS5pk.

INEN. 2013. "Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas.".

Jusoh, Mohd Lokman Che, Latifah Abd Manaf y Puziah Abdul Latiff. 2013. "Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality." *Iranian Journal of Environmental Health Science & Engineering* 10(1):17. [en línea] doi: https://doi.org/10.1186/1735--2746--10--17.

Lázaro, L. A. 2014. *Microbiotica, Nutrición Simbiótica y Microorganismos Regeneradores*. Edicionesi. [en línea] disponible en: https://goo.gl/mxLqyo.

Madigan, M. T, J. M Martinko, J. P Thomas, B. C Rodríguez Fernández y M. Sánchez Pérez. 2004. *Brock Biología de los Microorganismo*. Pearson Educación. [en línea] disponible en: https://goo.gl/LWxDiQ.

Moreno, J y K. Velarde. 2016. *Aislamiento, caracterización y usos potenciales de microorganismos de tierra de montaña y subtrópico*. Tesis de Grado. Escuela Politécnica del Chimborazo, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/SKRxXY.

Novoa, V, S Sunta, L Alomía y D. Baculima. 2008. *Guía de prácticas ambientales unidades de producción agropecuaria*. Dirección Metropolitana Ambiental. Quito - Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/XjFGbk.

Organic Fruits. 2016. "Tecnología EM." Organic Fruits EIRL. [en línea] disponible en: https://goo.gl/szN46s.

Pérez Zúñiga, M. E. 2016. *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de metales pesados (PB)*. Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. [en línea] disponible en: https://goo.gl/iQrJ2H.

Rehman, Z. U, I. H Farooqi y S. Ayub. 2009. "Performance of Biofilter for the Removal of Hydrogen

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Sulphide Odour." *International Journal of Environmental Research* 3(4):537–544. [en línea] disponible en: https://goo.gl/pPLfPA.

Salinas Carrillo, D y H. Huacollo Álvarez. 2011. *Tratamiento de las aguas residuales del comité de regantes de Arunta*. BIOEM Tacna, Tecnología EM para un ambiente sano y productivo. [en línea] disponible en: https://goo.gl/XjFGbk.

Szymanski, N y R. Patterson. 2003. *Effective Microorganisms (EM) and Wastewater Systems*. Future Directions for On-site Systems: Best Management Practice. [en línea] disponible en: https://goo.gl/gx4kM9.

UTE. 2014. *Métodos para la determinar el pH de una solución*.

Varela Reyes, D. J. 2013. Evaluación de la viabilidad técnica y de costos de la aplicación de un proceso avanzado de oxidación fotocatalitico en el tratamiento de aguas residuales del sector textil de Bogotá. Master's thesis Universidad Nacional de Colombia. [en línea] disponible en: https://goo.gl/9Y4Ksx.

Welter, A, J Romero, Y Grumelli y J. Sánchez. 2010. *La biopelícula en los procesos RBC*. Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental. [en línea] disponible en: https://goo.gl/88QF8B.

Zamora, F. R, N. J Rodríguez Guevara, D. J Torres Rodríguez y H. J. Yendis Colina. 2009. "Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa." *Agricultura técnica en México* 35(2):211–218. [en línea] disponible en: https://goo.gl/oRQE7L.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

La granja:
Revista de
Ciencias de la Vida
pISSN:1390-3799; eISSN:1390-8596
http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.10

Artículo científico / Scientific paper

Desarrollo rural sostenible

Gestión de calidad de leche de pequeños y medianos ganaderos de centros de acopio y queserías artesanales, para la mejora continua. Caso de estudio: Carchi, Ecuador

Milk quality management of small and medium cattle ranchers of collection centers and artisan cheese factories, for continuous improvement. Case study: Carchi, Ecuador

Eloy Guillermo De la Cruz[1], Paola Simbaña Díaz[2], Nancy Bonifaz[3]

[1]* *Egresado de la maestría en Economía y administración Agrícola, ESPOCH, Riobamba Ecuador.*
[2] *Laboratorio de Calidad de leche de la Universidad Politécnica Salesiana, Centro de apoyo Cayambe: Av. Natalia Jarrín y 9 de Octubre Telf. (593-2) 3962885, Ecuador.*
[3] *Grupo de investigación NUNKUI WAKAN, Universidad Politécnica Salesiana, Campus El Girón: Isabel la Católica N. 23-52 y Madrid.*

*Autor para correspondencia: ede@ups.edu.ec; psimbana@ups.edu.ec

Artículo enviado el 13 de agosto de 2017. Aceptado, tras revisión el 23 de noviembre de 2017. Publicado el 1 de marzo de 2018.

Resumen

El objetivo de esta investigación fue analizar el seguimiento de las buenas prácticas pecuarias de pequeños y medianos productores de leche de la provincia del Carchi, con un proyecto de vinculación bajo convenio interinstitucional entre la Universidad Politécnica Salesiana, Fundación Alpina y el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Carchi (GADPC). Se realizó dos muestreos a 630 unidades productivas para determinar la calidad higiénica, sanitaria y físico- química de la leche. Con los resultados de la primera fase se realizó una intervención técnica a los productores mediante visitas de campo, charlas y asesoramiento técnico para el diagnóstico de la mastitis y calidad integral de la leche. En la siguiente fase del proyecto se procedió a realizar la segunda toma de muestras donde se aplicaron las pruebas de laboratorio como pH, crioscopía, lacto fermentación y reductasa. Los resultados más relevantes del estudio fueron; en cuanto a calidad composicional más del 90% de los productores cumplen la norma NTE INEN 9 para leche cruda; se observó también que el 6.3% de los ganaderos mejoraron en la calidad higiénica con conteos bacterianos <600.000 IBC/ml; en la calidad sanitaria no hubo una mejora en la reducción del contenidos de células somáticas.
Palabras claves: leche bovina, células somáticas, microorganismos, lacto fermentación, crioscopia.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Abstract

The objective of this research was to analyze the monitoring of good livestock practices of small and medium milk producers in the province of Carchi, with a entailment project under an inter-institutional agreement between the Salesian Polytechnic University, the Alpina Foundation and the Provincial Autonomous Decentralized Government of the Carchi (GADPC). Two samplings were carried out at 630 productive units to determine the hygienic, sanitary and physico-chemical quality of the milk. With the results of the first phase, a technical intervention was made to the farmers through field visits, lectures and technical advice for the diagnosis of mastitis and integral quality of the milk. In the next phase of the project, the second sampling was carried out where laboratory tests were applied such as pH, cryoscopy, lacto fermentation and reductase. The most relevant results of the study were; in terms of compositional quality, more than 90% of the producers comply with the NTE INEN 9 standard for raw milk; it was also observed that 6.3% of the farmers improved the hygienic quality with bacterial counts <600,000 IBC / ml; in sanitary quality there was no improvement in the reduction of somatic cell contents.
Keywords: bovine milk, somatic cells, microorganisms, lacto fermentation, cryoscopy.

Forma sugerida de citar: De la Cruz, E. G., Simbaña Diaz, P., Bonifaz, N.. 2018. Gestión de calidad de leche de pequeños y medianos ganaderos de centros de acopio y queserías artesanales, para la mejora continua. Caso de estudio: Carchi, Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):124-136. http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.10.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

1 Introducción

La leche cruda de microempresas artesanales e industriales utilizadas para la elaboración de productos lácteos, es una mezcla muy variada de estructuras químicas y microorganismos, que hace difícil tener un producto de características constantes, por la variabilidad cultural y tecnológica utilizada en la producción de leche bovina de los campesinos y mestizos asentado en el callejón interandino del Ecuador (Villegas de Gante y Santos Moreno, 2011).

La inocuidad de los alimentos es la parte más importante de la salud pública, esto significa producir o mantener la calidad sanitaria, higiénica y nutricional de los productos, libres de microorganismos patógenos que puedan causar daño al consumidor. Las bacterias causantes de la contaminación pueden estar en; el interior del pezón, estiércol, materiales y equipos de ordeño, aire, personal, el animal, agua, si esta no es tratada adecuadamente (Buxadé Carbó, 2002).

La contaminación con microorganismos comunes, no causan enfermedades a los consumidores, pero estos pueden alterar los componentes de la leche y traer consigo el deterioro de las características propias de los productos elaborados restándole calidad y valor comercial (Villegas de Gante y Santos Moreno, 2011).

Estandarizar la producción de la materia prima con calidad se convierte en una necesidad importante actualmente, para lograr producir productos lácteos de calidad y poder comercializar a nivel nacional con toda seguridad y poder avanzar hacia los mercados internacionales que por cierto tienen un nivel tecnológico de alta de exigencia.

Calidad de leche, entendidos definen como "Aquel producto que cumpla consistentemente con las expectativas nutricionales, sanitarias y organolépticas del consumidor cuya composición justifique lo que se está pagando por ella", es decir el consumidor paga el cumplimiento de las características de la cadena de producción láctea, como es el acatamiento de las especificaciones que exige la planta procesadora (primer "consumidor"), quien a su vez, debe cumplir con los requerimientos que exigen los supermercados (segundo "consumidor"), todo esto para satisfacer las necesidades del consumidor final.

Así, desde el campo hasta la mesa, la calidad de la leche concierne a lecheros, veterinarios, plantas procesadoras, supermercados, autoridades y por supuesto, al consumidor final (CANILEC, 2011).

En un estudio de diagnóstico realizado anteriormente, mediante un convenio interinstitucional entre la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), Universidad Politécnica estatal del Carchi (UPEC), Fundación Alpina y el Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial del Carchi (GADPC), se evidenció las deficientes prácticas pecuarias repercutiendo en la calidad de la materia prima en los pequeños y medianos productores de la provincia del Carchi (Chuquín Yépez, Aquino Ruíz y De la Cruz González, 2016).

El monitoreo constante de la calidad de la materia prima es primordial (FAO, 2017) donde el productor y el laboratorio de control, deben ser los principales protagonistas del desarrollo de la cadena láctea en el país. Los centros de acopio y queserías artesanales no están exentas del monitoreo de la calidad de su producto, al contrario por la diversidad cultural en la producción se hace necesario esta actividad, para intentar mejorar y mantener un estándar de calidad.

Por lo expuesto anteriormente, se hace difícil mantener una estandarización en la elaboración de productos lácteos, consecuentemente trayendo consigo una serie de problemas en la industrialización. Antes se debe proponer estandarizar la producción primaria de los pequeños y medianos productores para lograr productos reiterativos en la calidad de la materia prima cumpliendo las normas ecuatorianas, y lo más importante manteniendo la salud de los consumidores que para el caso de Ecuador su objetivo está enfocado en la etapa escolar.

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar las buenas prácticas pecuarias con el fin de mejorar la calidad de la leche cruda como materia prima, luego de una intervención técnica, para establecer una cultura de monitoreo, mantener un estándar de calidad y de esta forma garantizar la inocuidad del producto final.

Una materia prima de calidad debe reunir todos los componentes y atributos, físico química (composición), higiénica (microorganismo), sanitaria (enfermedades de las vacas e infecciones de la glándula mamaria) sumado estas cualidades se podrá obtener una "calidad integral" como menciona Villegas de Gante y Santos Moreno (2011), y de esta forma la pequeña y mediana industria obtenga materia prima para elaborados de alta calidad tecnológica (Bacilio, 2016).

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

2 Materiales y Métodos

2.1 Ubicación del área de estudio

La provincia del Carchi está ubicada al norte del callejón interandino entre los paralelos 1°12'43" y 0°21'50" de Latitud Norte y entre los meridianos 77°31'36" y 78° 33'12" de Longitud Occidental. El relieve del terreno es irregular y montañoso. Limita al norte con los ríos Carchi y San Juan en la frontera con Colombia, al sur con la provincia de Imbabura, al este con la provincia de Sucumbíos, y a occidente con la de Esmeraldas. Su pisos climáticos se encuentra desde los 1.200 m.s.n.m., hasta los 4.768 m.s.n.m., y con temperaturas que oscilan entre 0 hasta los 27 °C en las zonas fronterizas con esmeraldas. Está dividida en seis cantones incluida la capital; Bolívar, Espejo, Mira, Montufar, San Pedro de Huaca, Tulcán (GADPC, 2016).

2.2 Población en estudio

El presente estudio se desarrolló en la primera fase con un total de 709 pequeños y medianos productores de leche, agremiados en 16 centros de acopio 4 queseras artesanales, 3 centros de acopio privados y el Centro Agrícola de Tulcán, correspondientes a 5 cantones de la provincia del Carchi, territorialmente distribuidos así: cantón Tulcán 5 asociaciones, 1 Centro Agrícola; cantón Huaca 3 asociaciones; cantón Montufar 4 asociaciones, 3 centros de acopio, 2 queseras artesanales; cantón Espejo 2 asociaciones, 1 quesera artesanal; cantón Mira 1 asociación, 1 quesera artesanal.

En el desarrollo del estudio, en la segunda fase se retiraron 2 centros de acopio privados y una asociación por problemas socio-organizativos, finalizando con 15 centros de acopio asociados, 1 centro de acopio privado, 4 queseras artesanales, sumándose en reemplazo el Centro Agrícola de Tulcán.

Por lo tanto el análisis se realizó en base a los centros que finalizaron el estudio con la segunda toma de 630 muestras.

2.3 Toma de muestras

Para la realización de esta investigación se contó con médicos Veterinarios Zootecnistas de la fundación Alpina y el apoyo técnico del GADPC conformado por; la Dirección del departamento de desarrollo económico, dos Médicos Veterinarios Zootecnistas, un Ing. Zootecnista y un promotor para la movilización las dos instituciones contribuyeron con; tres clínicas veterinarias móviles del GADPC y una camioneta de la fundación Alpina. Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de calidad de leche de la UPS., ubicado en el centro de apoyo Cayambe.

Se realizaron dos tomas de muestras; la primera como un diagnóstico inicial y una segunda para la evaluación de la asistencia técnica brindada por las clínicas veterinarias móviles del GADPC a los productores con problemas higiénico - sanitario. La toma de muestras estuvo a cargo del personal técnico del GADPC, y técnicos otorgados por fundación Alpina, previamente capacitados por el Laboratorio de Calidad de Leche (LCL) de la Universidad Politécnica Salesiana (UPS), siguiendo el protocolo en base a norma NTE INEN-ISO 707 (2014), las muestras fueron tomadas en el ordeño de la mañana, para microbiología se tomó asepticamente un frasco de 40ml y se agregó 4 gotas de conservante azidiol (azida de sodio), y se almacenó en un refrigerador con hielos para mantener la cadena de frío hasta el laboratorio. Para el análisis físico químico se tomó un frasco de 40ml y se agregó una pastilla de conservante bronopol y se almacenó en un cooler con hielos hasta el transporte al LCL. Las muestras para crioscopia, Ph, lactofermentación se tomó en frascos asépticos de 100ml la cantidad de 80ml de muestra sin conservante y asegurando la cadena de frío de 4-6 °C; en el caso de la prueba CMT no se tomó muetras se realizó directamente en la recepción utilizando una jeringa, tomando la proporción de dos ml de muestra y 2 ml del reactivo CMT (comercial), y al pie de la vaca usando una paleta para CMT siguiendo la técnica respectiva.

Se tomó una muestra por productor, en el caso de productores con más de dos barriles se tomó en una jarra de forma proporcional de cada barril para luego tomar una sub muestra. Las muestras sin conservante se analizaron en el lapso de una hora, en el caso de la muestras con conservantes se almacenaron en refrigeracion a 4 a 6 °C y se ingresaron antes de las 48 horas de tomadas al LCL para su análisis, éstas fueron analizadas en el transcurso de 12 horas de llegadas.

2.4 Primera fase

En esta fase se realizó un diagnóstico global de la calidad higiénica, sanitaria y físico química (composicional), en la UPS. La prueba de estabilidad pro-

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

teica, potencial óxido reducción; y la sanitaria CMT en la recepción en los centros de acopio. Se clasificó a los productores según los resultados de laboratorio, los superiores a 500.000 cs/ml que indican problemas sanitarios (mastitis); los conteos bacterianos (CBT) superior a 600.000/ml, indicando problemas higiénicos (MAGAP, 2013).

Una vez realizado el diagnóstico en la primera toma de muestras (%) se procedió a realizar la asistencia técnica con los profesionales otorgados por el GADPC, para luego realizar una segunda toma de muestras (%)y analizar su avance.

2.5 Segunda fase

En esta fase se puso en marcha la intervención de las clínicas móviles a los productores con problemas higiénicos, sanitarios y físico químicos. En el caso de problemas sanitarios mayores a 500.000 cs/ml, se realizó un diagnóstico individual mediante CMT a un total de 1094 bovinos productores de leche perteneciente a los pequeños y medianos productores de los centros de acopio y de las queseras. También se realizó ésta prueba a la leche fresca que se recibe en los tanques de enfriamiento con el fin de monitorear su avance en la calidad sanitaria. Para el caso de los problemas higiénicos se realizó capacitaciones sobre "Calidad higiénica y sanitaria de la leche"; manejo de Antibióticos y adulterantes para el caso de crioscopía, otorgados por docentes de la UPS. En esta fase también se realizó las pruebas de estabilidad proteica (Prueba de alcohol), al momento de la recolección, potencial óxido reducción, crioscopía y lacto fermentación luego de la recepción. La crioscopía se consideró como positivo (+) los resultados menores a -530 mH° y negativo (-) los resultados mayores o iguales a -530 mH° (NTE INEN 9, 2015).

2.6 Principio de los ensayos

Conteo Total de Bacterias (TBC o IBC siglas en inglés), su principio es citometría de flujo, estandarizado bajo la normas ISO16297- IDF 161: 2013. El Conteo de Células Somáticas (CCS), su principio de citometría de imagen estandarizado bajo normas ISO 13366-2; IDF 148-2:2016. Físico químico (composicional), su principio es espectrofotometría media infrarroja bajo norma estándar ISO 9622-IDF 141:2013.

Las pruebas básicas de laboratorio realizadas en la recepción de la leche cruda; CMT (*California Mastitis Test*) utilizado para controlar el estado sanitario de las ubres (*mastitis*), la prueba de alcohol para controlar la termo estabilidad proteica ésta se manifiesta mezclando la leche con igual volumen de Etanol a 71% en peso y/o 78% en volumen (NTE INEN 9, 2015), ya que el alcohol a esa concentración produce floculación o coagulación del producto cuando la acidez es igual o superior a 22,5 ml NaOH 0,1 N/100 ml, una prueba de alcohol positiva indica poca estabilidad de la leche al calor, lo cual es muy importante si la leche tiene fines de pasteurización; la prueba azul de metileno (reductasa) utilizada para estimar cuantitativamente la calidad higiénica de la leche mediante el principio de potencial de óxido -reducción (Eh), la leche cruda contiene +0,35 a +0,40 voltios (350 a 450 mili-voltios), el cual se debe principalmente al contenido de oxígeno disuelto en el producto. Si por cualquier causa ese oxígeno es separado, el Eh disminuye, esto ocurre cuando los microorganismos crecen en la leche y consumen el oxígeno, si el número de microorganismo es muy elevado, el consumo de oxígeno será mayor y por consiguiente el Eh descenderá rápidamente; si por el contrario, el número de microorganismos es pequeño, el Eh disminuirá lentamente (Universidad de Zulia, 2003); crioscopia estima la adición de agua según la norma (NTE INEN 9, 2015) de -0,512 °C a -0,536 °C es el rango de una leche cruda normal y lacto fermentación otra prueba utilizada para referirse a la calidad higiénica de tipo lacto fermentables como los coliformes y proteolíticas (Universidad de Zulia, 2003).

3 Resultados y Discusión

3.1 Calidad higiénica

La Tabla 1, testifica los resultados obtenidos en el monitoreo de la calidad higiénica de la leche cruda en la primera fase, obteniendo el 37.0% de pequeños y medianos productores con CBT >600.000/ml, este resultado indica que 233 ganaderos aun maneja el producto en condiciones antihigiénicas en su sistema de ordeño y transporte. El ordeño es un factor determinante en la calidad de la leche, un estudio realizado por (Ramírez Vásquez *et al*., 2011), a 130 productores revela que 41 (32%) no realizó el lavado de manos antes del ordeño y 58 (45%) no realiza el lavado de ubres, razón por la cual presentaron conteos bacterianos elevados restándole calidad al producto. Es evidente que estas

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

condiciones deficientes de manejo están sucediendo con los productores en la provincia, sus resultados confirman estas anomalías, sin embargo, la capacitación constante puede concienciar a los productores y cambiar estas realidades. En el segundo análisis se obtiene 30.7% de ganaderos con conteos mayores a 600.000 IBC/ml, observando una reducción del 6.3%, se puede aducir que la intervención técnica surgió efecto, sin embargo, no es el esperado, el personal técnico y la coordinación provincial tendrá que plantear nuevas estrategias de intervención y concientización a los pequeños y medianos productores para seguir avanzando en el desarrollo de las buenas prácticas pecuarias en esta provincia fronteriza. Chuquín Yépez, Aquino Ruíz y De la Cruz González (2016) resume en el primer diagnóstico realizado en la provincia que el 57% fue considerado como leche aceptable para el expendio en la provincia, hoy en día el 70% se considera leche comercializable según los resultados obtenidos.

Para avanzar en la calidad higiénica de la leche es necesario mantener un nivel tecnológico en la rutina de ordeño, empezando por una buena rutina de limpieza de las vacas lecheras, teniendo presente que los animales sucios presentan mayor riesgo de sufrir patología de la ubre, el correcto manejo es esencial (Bonifaz y Conlago, 2016). Manejar la higiene ambiental es primordial en la tecnología productora de leche, como las medidas elementales de higiene del ordeñador, manteniendo su ropa limpia, uñas recortadas, no padecer de enfermedades, la higiene de las manos factor determinante en la contaminación. Buxadé Carbó (2002), afirma que el 50% de los operadores se contamina antes de empezar la rutina de ordeño. Otro de los principales factores de la higiene ambiental a considerar es la calidad de agua, en las zonas rurales se debe considerar critica por el deficiente tratamiento de las aguas tanto para consumo como para el laboreo del ordeño (González, Monila y Coca, 2010). Todos los factores antemencionados y otros determinan la calidad higiénica de la leche en una finca. Los productores de la provincia deben trabajar a fondo en estos temas, si el objetivo es mantenerse en el mercado y empezar a competir como proveedores de leche de calidad integral.

3.2 Calidad sanitaria

De 630 productores en la provincia el 33.3% (210) de ellos resultaron con conteo de Células Somáticas >500.000/ml evidenciando que mantienen problemas sanitarios por la delicada salud de la glándula mamaria que están presentando, es decir hay presencia de mastitis subclínica y clínica; un 16.8% (106) de productores presentan en la primera fase altos conteos de CS/ml y CBT/ml revelando problemas higiénico y sanitario en la leche expendida para la industria. Los datos obtenidos en la fase dos comparados con los datos de la fase uno muestra que el conteo de células somáticas >500.000/ml, no existió una diferencia positiva de mejora más bien existió un aumento del 1%, esto confirma que se mantuvo los problemas sanitarios en las vacas de los ganaderos en la provincia durante la intervención técnica. Chuquín *et al*. (2017), revela en el primer diagnóstico realiza en la provincia que apenas el 21.4% de los ganaderos detecta y realizan el control de la mastitis, actualmente se continua evidenciando este problema grave en el control sanitario, el mismo autor también describe que a nivel provincial apenas el 52.7% cumple con el criterio de tratamiento preventivo de la mastitis al momento del secado, esto puede explicar el por qué la calidad sanitaria continúa siendo un problema en la provincia, agregándole a esto que menos del 50% de ganaderos utiliza mano de obra profesional para el tratamiento sanitario, esto puede repercutir en más problemas incontrolables en las vacas lecheras en un futuro. Con respecto al primer diagnósticos realizado en la provincia, Chuquín *et al*. (2017), resalta que el 65% de la leche expendida en la provincia es de calidad sanitaria aceptable, actualmente el 67% se consideraría con conteo celular menor a 500.000 cs/ml.

3.2.1 Calidad sanitaria de los hatos lecheros

El seguimiento realizado al 33.3% de los productores con conteo de células somáticas mayor a 500.000/ml, se les realizó el diagnóstico a un total de 1094 vacas productoras, obteniendo los siguientes resultados, como indica en la Tabla 2.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 1. Conteo celular y bacteriano de pequeños y medianos productores asociados, de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

Asociaciones	Total muestras		CCS >500.000				CBT >600.000			
	TM 1	TM 2	Toma 1	%	Toma 2	%	Toma 1	%	Toma 2	%
Linea roja	112	87	43	38.4	37	42.5	10	8.9	13	14.9
20 de marzo	13	10	5	38.5	5	50.0	2	15.4	3	30.0
Tuquer	23	13	5	21.7	3	23.1	4	17.4	4	30.8
Pizan	25	13	6	24.0	1	7.7	10	40.0	3	23.1
Progresista mirador	29	29	8	27.6	7	24.1	6	20.7	5	17.2
Taya	30	23	4	13.3	5	21.7	5	16.7	3	13.0
Avancemos juntos	15	13	4	26.7	3	23.1	7	46.7	4	30.8
Incca promsa	24	20	8	33.3	5	25.0	9	37.5	10	50.0
Mariscal sucre	27	18	11	40.7	9	50.0	19	70.4	14	77.8
Chitán	38	31	12	31.6	17	54.8	19	50.0	21	67.7
Centro agricola tulcán	18	12	6	33.3	7	58.3	11	61.1	6	50.0
Bicundos	42	16	15	35.7	3	18.8	26	61.9	8	50.0
Palo blanco	10	9	3	30.0	2	22.2	3	30.0	1	11.1
Emprendedores	18	15	7	38.9	3	20.0	8	44.4	3	20.0
San pedro	52	41	24	46.2	16	39.0	14	26.9	11	26.8
Sendero campo fertil	22	19	9	40.9	7	36.8	15	68.2	3	15.8
Delicia	95	58	29	30.5	17	29.3	47	49.5	18	31.0
Q'señor	20	12	5	25.0	4	33.3	10	50.0	8	66.7
Agroincas	17	10	6	35.3	3	30.0	8	47.1	0	0.0
TOTAL	**630**	**449**	**210**	**33.3**	**154**	**34.3**	**233**	**37.0**	**138**	**30.7**

CCS= Conteo de Células Somáticas
CBT= Conteo Bacteriano Total
TM= Toma de Muestras

Tabla 2. Prueba CMT realizada a 1094 vacas lecheras de 210 productores de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

Prueba CMT	Resultado en % (pezones afectados)
- (Negativo)	60.09
T (trazas)	15.05
+ (Positiva nivel 1)	15.88
++ (Positiva nivel 2)	7.07
+++ (Positiva nivel 3)	0.8
Pezones perdidos	1.12
Total:	**100 %**

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

El 39.9%, es decir más de un tercio de las vacas en producción de los ganaderos de la provincia presentan problemas serios en el control de la mastitis bovina, este problema posiblemente sea el efecto del descuido del pequeño y mediano productor en las buenas prácticas de ordeño (Bonifaz y Requelme, 2011), como también lo señala (Ramírez Vásquez *et al*., 2011) que el 90% de la mastitis es producida por deficiencias en el ordeño, lo que significa que esta enfermedad se produce en condiciones favorables que el mismo productor les proporciona, tales como: mal ordeño, falta de higiene al momento del ordeño, falta de higiene del área del ordeño, no separar los animales afectados de los sanos, no dar el tratamiento adecuado ni la dosis correcta y necesarias a cada animal enfermo (Buxadé Carbó, 2002). Por esta razón la mastitis subclínica sigue siendo la enfermedad silenciosa más costosa en la provincia por la pérdida de producción, la baja calidad del producto y consecuentemente problemas en la industrialización, esto conlleva una pérdida económica severa para el productor (Mellado Bosque, 2010; Bonifaz y Conlago, 2016), por esta razón es importante monitorea la enfermedad en los animales y la calidad de la leche en la recepción para luego ser expendida para la industria láctea.

3.2.2 Calidad sanitaria por proveedor mediante CMT

La prueba CMT realizada a cada proveedor en la recepción de las asociaciones y centros de acopio arrojó los siguientes resultados del Tabla 3.

En la Tabla 3, se aprecia los resultados de las dos fases donde aparentemente hay una mejora del 13.16% de productores detectados negativamente ante la prueba CMT, demostrando que este tipo de pruebas rápidas son herramientas importantes en un laboratorio básico de control de la calidad en un centro de recepción de leche cruda.

De acuerdo a los datos obtenidos, la leche cruda de pequeños y medianos productores asociados en ésta provincia mejora un 13.16% comparados con los resultados de la primera fase, estos resultados motiva a seguir buscando modelos de desarrollo en la concientización del control del a enfermedad (mastitis) para lograr conseguir leche de productores de pequeña escala de calidad sanitaria.

Tabla 3. Prueba CMT realizada en la recepción de leche a los productores de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

Prueba CMT	Porcentaje (%) de productores Primera Toma	Porcentaje (%) de productores Segunda Toma	Diferencia
- (Negativo)	35.41	48.61	13.16
T (trazas)	37.01	31.02	-5.99
+ (Positiva nivel 1)	19.59	15.51	-4.08
++ (Positiva nivel 2)	6.97	3.94	-3.03
+++ (Positiva nivel 3)	1.02	0.93	-0.09
Total positivo	64.59	51.39	-13.2
Total:	**100 %**	**100 %**	

3.3 Calidad físico químico de la leche cruda

3.3.1 Composición química

Los resultados de la Tabla 4, indican que el 7.47% y 8.12% de pequeños y medianos productores de leche tienen problemas en cuanto al porcentaje de grasa y proteína respectivamente, reflejando posibles problemas de adulteración con agua o deficiente nutrición de las vacas lecheras. En lo respecta a la nutrición, después de los factores genéticos los no genéticos como la alimentación es el factor determinante en la producción de grasa y proteína en la leche. El clima de la región también juega un papel crucial en el manejo alimenticio de la vaca, como las épocas de lluvia se debe tener en cuenta la disponibilidad y digestibilidad de los potreros especialmente en el racionamiento de proteína, mientras que en épocas secas las altas temperaturas y el aumento de fibra de los pastizales puede afectar la

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

calidad de la ración diaria suministrada, afectando la producción de los sólidos totales en la leche, Valdés y Canto (2015) sostienen que el aporte de fibra en la ración alimenticia por ejemplo la grasa puede subir hasta en un 1% y la proteína en 0.3%., también acotan que la alimentación incide directamente en la producción de grasa, mientras que la proteína depende del factor genético, pero que la alimentación define el techo efectivo en ambos casos. La norma NTE INEN 9 (2015), establece que una leche cruda debe contener un mínimo de 3% grasa y 2.9% de proteína, por lo que aún no se cumple en su totalidad en la provincia.

La tabla de pago por calidad emitida en septiembre del 2013 por el MAGAP, establece que el costo de sustentación del litro de leche cruda es de 42 centavos de dólar, con el contenido de grasa de 3.0% y proteína en 2.9%. Con este argumento la leche de la provincia el 92.5% y 91.9% de grasa y proteína respectivamente su leche cruda tiene derecho al pago por calidad, sin embargo, este precio puede descender o ascender por el contenido bacteriano, que la tabla estipula que debe contener $\leq$ 300.000 IBC/ml o 300.000 ufc/ml para obtener las respectivas bonificaciones, caso contrario se penaliza bajando su costo inclusive de sustentación.

Con respecto al primer diagnóstico la grasa y proteína se mantenía en 90 y 86% respectivamente, actualmente se puede mencionar que hay una mejora de 2.5 y 6% respectivamente, manteniéndose la calidad composicional (Chuquín *et al*., 2017).

Tabla 4. Porcentaje de grasa y proteína en la leche cruda de los productores de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

Asociaciones	N° prov	Grasa		Proteína	
		<3	%	<2.9	%
Agroincas	42	6	14.29	2	4.76
San francisco/línea roja	27	3	11.11	7	25.93
A. Bicundos	29	5	17.24	4	13.79
A. Emprendedores	22	-	-	1	4.55
A. San pedro	9	2	22.22	2	22.22
Centro agrícola tulcán	8	-	-	1	12.5
Chitán	8	2	25	-	-
La paz	48	8	16,67	7	14.58
Mariscal sucre	47	3	6.38	2	4.26
Piartal	10	1	10	1	10
Pizán	24	2	8.33	2	8.33
Comercializadora/taya	30	4	13.33	5	16.67
Tuquer	13	3	23.08	1	7.69
Progresista mirador	18	1	5.56	2	11.11
Q'señor	52	6	11.54	13	25
Total:	**616**	**46**	**7.47**	**50**	**8.12**

3.3.2 Reacción de estabilidad proteica (Prueba de alcohol)

Los resultados de la Tabla 5, tienen relación directa con los altos conteos bacterianos, esto implica que estas leches crudas dieron positivo a la prueba de alcohol, confirmando la deficiente calidad higiénica. Los porcentajes 13.93% y 13.19% en las dos fases analizadas respectivamente corrobora la falta de calidad de la leche que se deposita en los centros de recolección en la provincia.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 5. Resumen de la prueba de alcohol realizado a los productores de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

Resultado	Primera toma de muestras	Segunda toma de muestras	Diferencia
Negativos	86.07	86.81	-0.75
Positivos	13.93	13.19	0.74

La prueba de alcohol debe realizarse todos los días en los centros de recolección de la leche cruda, porque todos los días es una realidad aparte, un descuido en el sistema y los resultados son insatisfactorios en la calidad del producto, es la única forma de controlar el cumplimiento o incumplimiento de las mínimas normas de higiene en el proceso. Es la única prueba empírica, rápida que puede ayudar a juzgar el producto al momento de la recepción.

3.3.3 Crioscopía

Los resultados de crioscopía muestran que el 16.43% de productores incluidos en este estudio aparentemente adulteran la leche con agua, pero antes de juzgar mediante esta prueba se sugiere realizar un seguimiento en el hato lechero para identificar de cerca el problema de aguado u otros como deficiencia nutricional, época de lactancia, temperatura ambiental, patologías fisiológicas que pueden estar atravesando los animales (González Cuascota, 2013), y consecuentemente la crioscopia este fuera de las normas estatales.

Chuquín Yépez, Aquino Ruíz y De la Cruz González (2016), revela que el 70% de ganaderos superaba los requisitos de la norma (NTE INEN 9, 2015), en el primer diagnóstico realizado en la provincia, actualmente se puede apreciar un 13.57% de avance en el control de adulteración con agua.

3.3.4 Tiempo de reducción de azul de metileno (Prueba de reductasa)

El promedio de los porcentajes de los ganaderos de los 5 cantones de la provincia respondió al tratamiento, hay un avance significativo luego de la intervención técnica. Sin embargo, este avance no es satisfactorio o esperado, en la primera fase el 70.64% (308) de los productores obtienen una leche de calidad comprobada mediante este examen al momento de la recepción, mientras que en la segunda fase el 81.29% (352) de los productores proporcionan leche de calidad según esta prueba.

La prueba de reductasa en la cualificación de la calidad higiénica de la leche cruda, indica a groso modo el grado de contaminación bacteriana. En la Tabla 6. Se observa que los promedios en las dos tomas de muestras antes y después de la intervención técnica, hay un incremento del 10.65% de los promedios >a 5 horas que según la norma NTE INEN 9 (2015), el producto es de calidad.

En un estudio realizado por Buñay y Peralta (2015), en 168 muestras de proveedores de leche cruda en la provincia del Cañar, escasamente el 32.1% cumple el criterio de calidad impuesta por la NTE INEN 9 (2015) >a 3 horas lo que evidencia que en la provincia del Carchi el avance es significativo en el control de la calidad de la materia prima, pero aún se necesita seguir trabajando.

Esta prueba mantiene un proceso cuidadoso, pero con capacitación es manejable para controlar el estado higiénico de la leche, los centros de recolección deben mantenerla para el control diario y vigilar la calidad del producto recibido (Zambrano y Grass, 2008) y poder tomar las medidas pertinentes con los usuarios asociados y poder avanzar en el proceso de calidad.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Tabla 6. Resumen de la prueba de reductasa realizado a los productores de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

Asociaciones	<3horas	3-5 horas	<5horas	<3horas	3-5 horas	>5 horas
	% primera Toma			% segunda Toma		
20 de marzo	7.69	23.08	69.23	0	0	100
Agroincas	33.33	47.62	19.05	0	14.29	85.71
A. Juntos	29.41	23.53	47.06	23.53	23.53	52.94
Bicundos ii	20.45	22.73	56.82	4.55	0	95.45
Emprendedores	0	0	100	7.69	19.23	73.08
La delicia	12.36	21.35	66.29	11.11	11.11	77.78
Mariscal sucre	25.93	25.93	48.15	44	0	56
Dolorosa	20	10	70	30	20	50
Pizán	7.69	15.38	76.92	4.35	4.35	91.3
Progresista m.	3.7	0	96.3	6.06	12.12	81.82
Q'señor	60	10	30	5	20	75
S. C. Fértil	0	9.52	90.48	0	9.52	90.48
San pedro	0	4.65	95.35	2.27	2.27	95.45
Solferino	12.5	4.17	83.33	0	12.5	87.5
Tuquer	0	11.11	88.89	0	16.67	83.33

3.3.5 Lacto fermentación

El 48.2% y 6.57% de productores de la provincia mantienen problemas de bacteria de tipo fermentables (coliformes) y proteolíticas respectivamente, el 44.91% de productores presento leche negativa a la prueba reflejando un producto higiénico de buena calidad, y se obtuvo 0.31% de las muestras que no presento coagulación presuntamente por contener sustancias químicas, detergentes, pesticidas desde los establos. Las leches con resultados negativos son favorables para la industria láctea productora de quesos (Figura 1). Esta prueba ayudó a identifica que la leche de la provincia tiene serias deficiencias en la calidad higiénica originada en los establos.

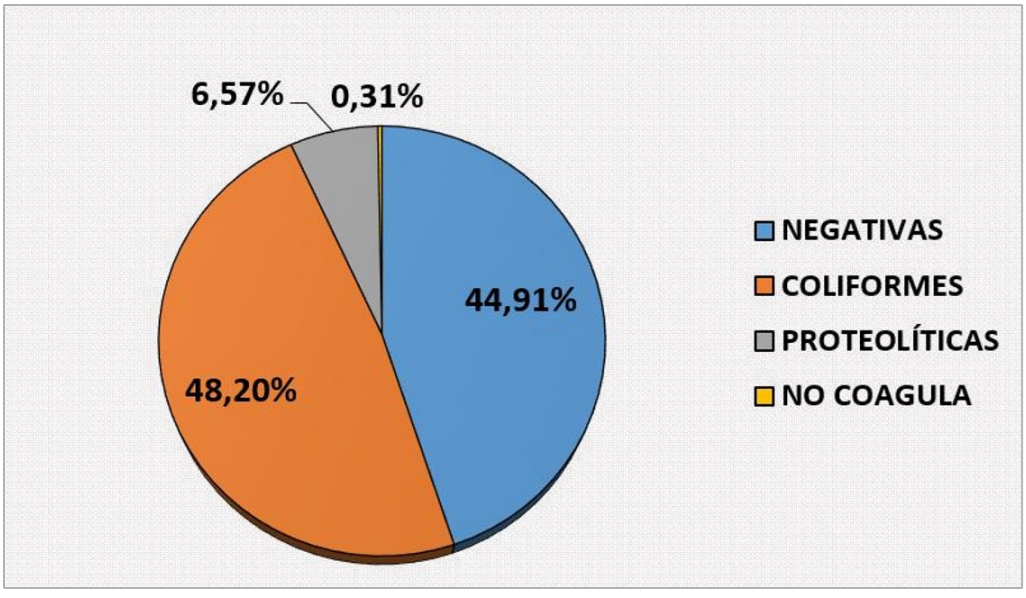


Figura 1. Resultado general de la prueba de lacto fermentación de los pequeños y medianos productores de los 5 cantones de la provincia del Carchi.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

4 Conclusiones

Los análisis de laboratorio sin duda siguen siendo una herramienta fundamental para el diagnóstico de la calidad de la leche cruda a nivel de productor. Las pruebas cualitativas como el CMT ayuda a diagnosticar problemas sanitarios a nivel de productor; mientras que la prueba de alcohol, reductasa, lacto fermentación ayudaron a determinar el estado higiénico a groso modo de la leche cruda. Las pruebas cuantitativas como el CBT, CCS, Crioscopia, son pruebas indicativas de problemas evidentes y comprobados de problemas higiénicos, sanitarios y de adulteración del producto.

Un tercio de la población de los ganaderos de la provincia (33.3%) continúan con serias deficiencias en el diagnóstico y control de la mastitis bovina. Se evidenció que los conteos celulares superiores a 500.000cs/ml del bidón de los productores, el 40% de ellos mantienen animales positivos a la prueba CMT en producción, lo que significa que aún hay deficiencia en el diagnóstico realizado por el ganadero a sus vacas, dificultando aún más la prevención y tratamiento de la enfermedad. La calidad higiénica continúa siendo el tópico de todos los involucrados en la cadena de valor de la leche cruda. Sin duda los resultados de laboratorio son el reflejo del manejo integral de los animales en producción y mejorar dependerá del esfuerzo y sabiduría única del ganadero. La calidad físico química como la grasa y proteína, cumplen más del 90% de los ganaderos, manteniéndose en los límites establecidos por las normas estatales. Un correcto manejo en el suministro alimenticio puede ayudar a obtener mejores resultado de grasa y proteína.

Agradecimiento

De manera especial a los productores de la provincial del Carchi, al personal técnico de GADPC; fundación alpina y UPS por el apoyo y la entrega al proyecto de investigación, por todos los recursos destinados.

Referencias

Bacilio, V. 2016. Evaluación de transferencia de tecnología en unidades de producción de leche en pequeña escala, en el municipio de Aculco, estado de México. In *Tesis de Grado. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: https://goo.gl/PyTFvq*.

Bonifaz, N y F. Conlago. 2016. "Prevalencia e incidencia de mastitis bovina mediante la prueba de California Mastitis Test con identificación del agente etiológico, en Paquiestancia, Ecuador." *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 24(2):43–52. doi: http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.04.

Bonifaz, N y N. Requelme. 2011. "Buenas prácticas de Ordeño y la Calidad higiénica de la Leche en el Ecuador." *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida* 14(2):43–52. doi: http://dx.doi.org/10.17163/lgr.n14.2011.04.

Buñay, N y F. Peralta. 2015. *Determinación del recuento de aerobios mesófilos en leche cruda que ingresa a industrias lacto Ochoa - Fernández CIA. Ltda*. Tesis de grado, Universidad de Cuenca, Ecuador. Disponible en: https://goo.gl/NwBQ3F.

Buxadé Carbó, C. 2002. *El ordeño en el ganado vacuno: aspectos claves*. Ediciones Mundi–Prensa. Disponible en: https://goo.gl/VcK1Sa.

CANILEC. 2011. *El libro blanco de la leche y productos lácteos*. CANILEC. Disponible en: https://goo.gl/4HFofL.

Chuquín, H, E Ibarra, E De la Cruz y P. Simbaña. 2017. "Diagnóstico de cumplimiento de las buenas prácticas pecuarias en la provincia del Carchi." *Revista Visión Empresarial* (6):206–2017.

Chuquín Yépez, H. G, E. L Aquino Ruíz y E. G. De la Cruz González. 2016. "Diagnóstico del manejo de la calidad de leche y del queso en la provincia del Carchi." *Revista Sathiri* 11(11):153–168. Disponible en: https://goo.gl/FY76kd.

FAO. 2017. "Calidad y evaluación." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Disponible en: https://goo.gl/Fg7nV8.

GADPC. 2016. "Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia del Carchi.".

González Cuascota, M. V. 2013. Estudio del punto crioscópico de leche cruda bovina, en dos pisos altitudinales y dos épocas del año. In *Tesis de Grado, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador. Disponible en: https://goo.gl/xANWDZ*.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

González, G, B Monila y R. Coca. 2010. Calidad de la leche cruda. In *Primer Foro sobre Ganadería Lechera de la Zona Alta de Veracruz. Disponible en: https://goo.gl/KvJU83*.

MAGAP. 2013. "Acuerdo 394: Regúlese y contrólese el precio del litro de leche cruda pagada en finca y/o centro de acopio al productor y promuévase la calidad e inocuidad de la leche cruda.".

Mellado Bosque, M. 2010. *Producción de leche en zonas templadas y tropicales*. Editorial Trillas. Disponible en: https://goo.gl/2XRHWp.

NTE INEN 9. 2015. "Leche cruda. Requisitos. Sexta revisión." Instituto Ecuatoriano de Normalización. Disponible en: https://goo.gl/7fAkQE.

NTE INEN-ISO 707. 2014. "Leche y productos lácteos. Directrices para la toma de muestras (ISO 707:2008, IDT)." Instituto Ecuatoriano de Normalización. Disponible en: https://goo.gl/7cGKi5.

Ramírez Vásquez, N, O Arroyave Henao, M Cerón-Muñoz, M Jaramillo, J Cerón y L. G. Palacio. 2011. "Factores asociados a mastitis en vacas de la microcuenca lechera del altiplano norte de Antioquia, Colombia." *Revista de Medicina Veterinaria* (22):31–42. [en línea] disponible en: https://goo.gl/QMZoyv.

Universidad de Zulia. 2003. Introducción al control de calidad de la leche cruda, Guía práctica. In *Cátedra de Ciencia y tecnología de la Leche. Disponible en: https://goo.gl/EjkpEK*.

Valdés, C y F. Canto. 2015. *Alimentación de Vacas Lecheras en Pastoreo y sus Efectos en el Contenido de Sólidos Lácteos*. INIA. Disponible en: https://goo.gl/aLVMGm.

Villegas de Gante, A y A. Santos Moreno. 2011. *Manual básico para elaborar productos lácteos*. Trillas Sa de Cv. Disponible en: https://goo.gl/nNCfTY.

Zambrano, J y J. Grass. 2008. "Valoración de la calidad higiénica de la leche cruda en la asociación de productores de leche de Sotará – asproleso, mediante las pruebas indirectas de resazurina y azul de metileno." *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 6(2):56–66. Disponible en: https://goo.gl/n1yruK.

©2018, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Normas para autores

El presente manual describe los pasos que deberá tener en cuenta para realizar un envío satisfactorio de su manuscrito. Tómese el tiempo necesario para leer cuidadosamente el presente documento.

1 Información general

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» es una publicación científica bilingüe de la Universidad Politécnica Salesiana de Ecuador, editada desde enero de 2002 de forma ininterrumpida, con periodicidad fija semestral, especializada en Ciencias de la Vida, Ambientales y sus líneas transdisciplinares como Ciencias de la Tierra, Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, y Desarrollo Local Sostenible, entre otras.

Es una revista científica arbitrada, que utiliza el sistema de evaluación externa por expertos (*peer- review*), bajo metodología de pares ciegos (*doble-blind review*), conforme a las normas de citación del estilo Harvard. El cumplimiento de este sistema permite garantizar a los autores un proceso de revisión objetivo, imparcial y transparente, lo que facilita a la publicación su inclusión en bases de datos, repositorios e indexaciones internacionales de referencia.

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» se encuentra indexada en SCOPUS, en el Emerging Source Citation Index ESCI de la Web of Science, en el directorio y catálogo selectivo del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (Latindex), en el Sistema de Información Científica REDALYC, en el Directorio de Revistas de Acceso Abierto DOAJ en el sistema de Clasificación Integrada de Revistas Científicas CIRC, en BaseSearch, la Máquina de Búsqueda Académica de *Bielefeld*, y en más de 42 repositorios, bibliotecas y catálogos especializados de Iberoamérica.

La revista se edita en doble versión: impresa (ISSN: 1390-3799) y electrónica (e-ISSN: 1390-8596), en español e inglés, siendo identificado además cada trabajo con un DOI (Digital Object Identifier System).

Todos los artículos son publicados para poder acceder a su contenido de manera abierta sin restricciones económicas, tanto en las fases de envío, revisión y publicación de los manuscritos.

2 Alcance y política

2.1 Temática

Contribuciones originales en materia de Ciencias de la Vida, Ambientales y sus líneas transdisciplinares como Ciencias de la Tierra, Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, y Desarrollo Local Sostenible y todas aquellas disciplinas conexas interdisciplinarmente con la línea temática central.

2.2 Aportaciones

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» edita preferentemente resultados de investigación empírica, teórica o experimental (*Scientific Articles*), redactados en español y/o inglés, siendo también admisibles puntos de vista (*Point of View*), así como selectas revisiones bibliográficas (*Reviews*).

Todos los trabajos deben ser originales, no haber sido publicados en ningún medio ni estar en proceso de arbitraje o publicación.

De esta manera, las aportaciones en la revista pueden ser:

a. Investigaciones Científicas (*Scientific Articles*):

5.000 a 6.500 palabras de texto, incluyendo título, resúmenes, introducción, materiales y métodos, resultados, conclusiones, tablas, figuras y referencias. Las referencias deberán estar citadas, ser actuales y selectivas de alrededor de unas 40 obras.

b. Puntos de Vista (*Point of View*):

Máximo 6.500 palabras de texto, incluyendo título, resúmenes, introducción, conclusiones, tablas y referencias. Se valorarán puntos de vista actuales, justificados, con suficientes referencias y sobre tomas que requieran discusión a un nivel científico

©2017, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

y/o técnico. Las referencias deberán estar citadas, ser actuales y selectivas de alrededor de unas 30 obras.

c. Revisiones (*Reviews*):

Máximo 7.000 palabras de texto, incluidas tablas y referencias. Se valorará especialmente las referencias justificadas, actuales y selectivas de alrededor de unas 50 obras.

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» tiene periodicidad semestral (20 artículos por año), publicada en los meses de marzo y septiembre.

2.3 Política económica abierta

«La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja», es una revista abierta, donde todos los artículos son publicados para poder acceder a su contenido de manera abierta sin restricciones de contenido o económicas, tanto en el proceso de revisión como de publicación de los manuscritos. La revista es publicada por el Editorial Abya-Yala, en Quito, Ecuador.

2.4 Copyright

Las obras que se publican en «La Revista de Ciencias de la Vida, La Granja» están sujetas a los siguientes términos:

1. La Universidad Politécnica Salesiana (RUC: 0190151530001) conserva los derechos patrimoniales (copyright) de las obras publicadas, y favorece y permite la reutilización de las mismas bajo la licencia *Creative Commons* Reconocimiento-No-Comercial-Sin Obra Derivada 3.0 Ecuador, por lo cual se pueden copiar, usar, difundir, transmitir y exponer públicamente, siempre que:
    - Se cite la autoría y fuente original de su publicación (revista, editorial, URL y DOI de la obra).
    - No se usen para fines comerciales u onerosos.
    - Se mencione la existencia y especificaciones de esta licencia de uso.
2. La publicación otorgará a cada artículo un *Digital Object Identifier* (DOI). Ejemplo: Navarrete, Bernardo, Oswaldo Valarezo, Ernesto Cañarte y Ramón Solórzano. 2017. Efecto del nim (*Azadirachta indica Juss.*) sobre Bemisia tabaci Gennadius (*Hemiptera: Aleyrodidae*) y controladores biológicos en el cultivo del melón Cucumis melo L. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 25(1):33-4. https://doi.org/10.17163/ret.n12.2016.05

3 Presentación, estructura y envío de los manuscritos

Todos los autores han registrarse con sus créditos, en la plataforma OJS, si bien uno solo de ellos será el responsable de correspondencia. Ningún autor podrá enviar o tener en revisión dos manuscritos de forma simultánea, estimándose una carencia de dos números consecutivos (1 años).

Cuando presente el artículo, usted no debe intentar diseñar el manuscrito, no justifique el documento, o centre los títulos, ni utilice el formato de doble columna. El único formato requerido es que los nombres en latín de los organismos deben estar en itálicas.

Los trabajos se presentarán en tipo de letra Arial número 10, interlineado doble (excepto para los títulos de tablas y figuras), justificado completo y sin tabuladores ni espacios en blanco entre párrafos. Todas las líneas deberán estar enumeradas de forma automática (Word>Diseño de pagina>Números de línea>continuo). Solo se separarán con un espacio en blanco los grandes bloques (título, autores, resumen, introducción, materiales y métodos, resultados, conclusiones y referencias). La página debe tener 2 centímetros en todos sus márgenes (descargar "manuscrito anonimizado").

Los trabajos deben presentarse en documento de Microsoft Word (.doc o .docx) o LateX (.tex) que incluya las referencias en formato (.bib), siendo necesario que el archivo esté anonimizado en Propiedades de Archivo, de forma que no aparezca la identificación de autor/es.

Los manuscritos deben ser enviados única y exclusivamente a través del OJS (Open Journal System), en el cual todos los autores deben darse de alta previamente. No se aceptan originales enviados a través de correo electrónico u otra interfaz.

Por motivos de mejoramiento de la visibilidad e impacto de las publicaciones, se sugiere que todos los autores o al menos el de correspondencia cuente con un número ORCID <https://orcid.org/>y una cuenta en Research Gate <https://www.researchgate.net/home>.

©2017, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.1 Estructura del manuscrito

Para aquellos trabajos que se traten de investigaciones científicas, los manuscritos seguirán la estructura IMRDC (Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones), cualquier uso de anexos se enviará como un documento aparte en Word o Latex y será catalogada como información complementaria (descargar "manuscrito anonimizado").

Aquellos trabajos que por el contrario se traten de Puntos de Vista y Revisiones Bibliográficas, podrán ser más flexibles en sus epígrafes, especialmente en Materiales y Métodos, Resultados y Discusión. En todas las tipologías de trabajos son obligatorias las Referencias. En cualquier caso los documentos constarán de las siguientes secciones:

a. Título (español) / *Title* (inglés):

Conciso pero informativo, en castellano en primera línea y en inglés en segunda. Se aceptan como máximo 25 palabras con espacios incluidos. El título no solo es responsabilidad de los autores, pudiéndose proponer cambios por parte del Consejo Editorial.

Es necesario escribirlo en mayúsculas y minúsculas, centrado; si contiene nombres científicos de taxa, destacarlos con cursivas, sin el autor del taxón.

b. Nombres y filiación de los autores:

Nombre(s) y Apellido(s) de cada uno de los autores, organizados por orden de prelación. Junto a los nombres ha de seguir centro de trabajo, dirección, ciudad, país, correo electrónico de cada autor y número de ORCID. Adicionalmente se debe incluir qué autor será el responsable del manuscrito o autor por correspondencia, señalándolo con un asterisco (*). Dicha información será únicamente presentada en el archivo modelo denominado "presentación-portada" (descargar "presentación-portada")

c. Resumen (español) / *Abstract* (inglés):

Tendrá como extensión máxima 250 palabras, primero en español y después en inglés. En el resumen se describirá de forma concisa implícita o explícitamente y en este orden: Justificación del tema; Objetivos; Metodología y muestra; Principales resultados; Principales conclusiones. Ha de estar escrito de manera impersonal "El presente trabajo analiza...". En el caso del abstract no emplee traductores automáticos, tome el debido cuidado al traducir su resumen, es la primera impresión que tendrá el revisor.

d. Palabras clave (español) / *Keywords* (inglés):

Se deben exponer de 4 a 6 descriptores por cada versión idiomática relacionados directamente con el tema del trabajo. Trate de no repetir las mismas palabras del título. Deben colocarse tanto en español, como en inglés.

e. Introducción:

Se sugiere utilizar el sistema SPPR Situación (Estado del Arte), Problema, Pregunta (Hipótesis del Estudio) y Respuesta (Objetivo del Estudio). De esta manera, se debe exponer de manera clara y con suficientes referencias bibliográficas el estado del arte actualizado de su estudio, el planteamiento del problema, el contexto de la problemática, la justificación, fundamentos y propósito del estudio, utilizando la literatura más significativa y actual del tema.

f. Materiales y métodos:

Deben ser redactados de forma que el lector pueda comprender con facilidad el desarrollo de la investigación. Describirá cronológicamente la metodología, la muestra y la forma de muestreo, así como se hará referencia al tipo de análisis estadístico empleado. Asegurando en todo momento la replicabilidad de su experimento explicando el diseño experimental, equipos de laboratorio utilizados y programas computacionales, entre otros. En toda metodología utilizada, es necesario exponer las razones que han conducido a su empleo y describir sus posibles limitaciones.

g. Resultados y Discusión:

Se procurará resaltar las observaciones más importantes. Debe incluir la información cuantitativa o cualitativa que sustentará las conclusiones finales. Aparecerán en una secuencia lógica en el texto y las Tablas, Figuras y ecuaciones imprescindibles evitando la duplicidad de datos. Toda tabla, figura o ecuación deberá estar citada en el texto y enumerada secuencialmente.

©2017, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

Para el caso de las ecuaciones, emplee el editor de ecuaciones de Word o mediante programación en Latex, coloque de manera consecutiva las ecuaciones ordenándolas mediante un número encerrado entre paréntesis (1), para mejor compresión vea el documento "manuscrito anónimizado".

Las fotos, ilustraciones y gráficas únicamente se presentan como figuras, y éstas, al igual que las tablas, deben incluir una descripción explicativa para cada una, ver manuscrito anónimizado.

En el texto, toda tabla y figura debe analizarse y discutirse resaltando los hallazgos más representativos y/o limitaciones del estudio. Cite dentro del texto figura 6 o tabla 1, por ejemplo. No abrevie la palabra figura o tabla.

Las figuras pueden ser dibujos lineales, mapas, o fotografías de medios tonos en blanco y negro o a color en resolución de 300 dpi, es decir el tamaño de la figura debe ser grande, apropiado para la publicación en formato de calidad. Si el artículo es aceptado tenga en cuenta que la revista le pedirá las figuras en elevada resolución y en formato TIFF, JPG.

Diseñe las figuras para que se ajusten eventualmente al tamaño final de la revista 19,2 × 26,2 cm. Asegúrese de que las inscripciones o detalles, así como las líneas, tengan tamaños y grosores adecuados de tal manera que no queden ilegibles cuando sean reducidos a su tamaño final (números, letras y símbolos deben ser reducidos al menos a 2,5 mm de altura después que las ilustraciones han sido reducidas para ajustarse a la página impresa). Idealmente, las ilustraciones lineales deben ser preparadas a aproximadamente a un cuarto de su tamaño final de publicación, ejemplo: 4, 7 × 6, 5 cm.

Diferentes elementos en la misma figura deben ser deletreados a, b, c, d, etcétera. Las fotografías deben gravarse con alto contraste y en alta resolución. Recuerde que las fotografías frecuentemente pierden contraste en el proceso de impresión. Si las figuras han sido previamente usadas, es de responsabilidad única del autor el obtener el/los permisos correspondientes. Evite problemas posteriores relacionados con los derechos de autor.

h. Conclusiones y Discusión:

El apartado de Discusiones puede aparecer en los Resultados o en las Conclusiones, a preferencia del autor. Las Conclusiones resumirán los hallazgos más importantes, relacionando las propias observaciones con estudios de interés, señalando aportaciones y limitaciones, sin redundar datos ya comentados en otros apartados. Asimismo, el apartado de discusión y conclusiones debe incluir las implicaciones y líneas para futuras investigaciones.

i. Agradecimientos (opcionales):

El *Council Science Editors* recomienda a los autor/es especificar la fuente de financiación de la investigación. Se considerarán prioritarios los trabajos con aval de proyectos competitivos nacionales e internacionales. En todo caso, para la valoración científica del manuscrito, este debe ir anonimizado con XXXX solo para su evaluación inicial, a fin de no identificar autores y equipos de investigación, que deben ser explicitados en la Carta de Presentación y posteriormente en el manuscrito final.

j. Referencias:

Las citas bibliográficas deben reseñarse en forma de referencias al texto. Bajo ningún caso deben incluirse referencias no citadas en el texto. Su número debe ser suficiente para contextualizar el marco teórico con criterios de actualidad e importancia. Se presentarán alfabéticamente por el primer apellido del autor, siguiendo el estilo Harvard, que se describe a continuación y/o que se puede presentar con el gestor de citas del procesador de texto utilizado.

3.2 Normas para las referencias

3.2.1 Como se cita en el texto

Harvard es un estilo de citación que permite colocar los dos apellidos del autor (muchas veces éstos aparecen separados con un guión), si es que los presenta. Caso contrario se utiliza un solo apellido, como es usual en la tradición anglosajona.

Un autor: Samaniego (2012); (Samaniego, 2012); Valdés-Pérez (2016); (Valdés-Pérez, 2016); (Valdés Pérez, 2016); Valdés Pérez (2016).

Hasta tres autores: Samaniego, Vásquez y Torres (2010); (Samaniego, Vásquez y Torres, 2010).

Más de tres autores: Samaniego *et al*. (2010); (Samaniego *et al*., 2010)

La Granja:*Revista de Ciencias de la Vida* 27(1) 2018:137-142.
©2017, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

3.2.2 Referencias

a. Artículo de revista (incluir siempre el DOI del artículo o en lo posible la dirección electrónica URL del artículo):

Arnold, M. y Osorio, F. (1998) Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General del Sistemas. Revista Cinta de Moebio [en línea], (3). Universidad de Chile. Disponible en <https://goo.gl/FwjAqo>[consulta: 20 enero 2005].

Dhillon, B. (2004) Should Doctors Wear Ties? Medical Monthly [en línea], 3 (1), 55-88. Disponible en <https://goo.gl/pHzUxJ>[consulta: 20 abril 2006].

b. Libros completos:

Un Autor:
Holt, DH 1997, Management principles and practices, Prentice Hall, Sydney.

Dos Autores:
McCarthy, EJ, William, DP & Pascale, GQ 1997, Basic marketing, Irwin, Sydney.

Tres o más autores:
Bond, WR, Smith, JT, Brown, KL & George, M 1996, Management of small firms, McGraw-Hill, Sydney.

c. Medios electrónicos:

Reed, S 2015, 'Shift to lower-carbon energy is too slow, report warns', New York Times, 9 November. Available from: https://goo.gl/iczP53. [10 November 2015].

Es prescriptivo que todas las citas que cuenten con DOI (Digital Object Identifier System) estén reflejadas en las Referencias (pueden obtenerse en http://goo.gl/gfruh1). Todas las revistas y libros que no tengan DOI deben aparecer con su link (en su versión online, en caso de que la tengan, acortada, mediante Google Shortener: http://goo.gl

Los artículos de revistas deben ser expuestos en idioma inglés, a excepción de aquellos que se encuentren en su idioma de origen, caso en el que se expondrá en ambos idiomas utilizando corchetes. Todas las direcciones web que se presenten tienen que ser acortadas en el manuscrito, a excepción de los DOI que deben ir en el formato indicado (https://doi.org/XXX).

3.3 Epígrafes

Los epígrafes del cuerpo del artículo se numerarán en arábigo. Irán sin caja completa de mayúsculas, ni subrayados, ni negritas. La numeración ha de ser como máximo de tres niveles: 1. / 1.1. / 1.1.1.

Al final de cada epígrafe numerado se establecerá un espacio.

4 Proceso de envío

Deben remitirse a través del sistema OJS previo registro en la dirección <http://revistas.ups.edu.ec/index.php/granja/user/register>de la revista, los siguientes archivos:

Archivo N°1: Cover Letter, Cesión de derechos y declaración de conflictos de interés:
Descargue el modelo "cover letter".

Archivo N°2: Presentación-portada:
Este archivo (Word o Latex), contendrá tres apartados claramente identificables:

a) Título en español e inglés, nombres y apellidos de los autores de forma estandarizada con número de ORCID, filiación y grado académico.

b) Resumen, abstract, palabras claves y keywords.

c) Una declaración de que el manuscrito se trata de una aportación original, no enviada ni en proceso de evaluación en otra revista, confirmación de las autorías firmantes, aceptación (si procede) de cambios formales en el manuscrito conforme a las normas y cesión parcial de derechos a la editorial (descargar "presentación-portada").

Archivo N°3: Manuscrito totalmente anonimizado, conforme a las normas referidas en precedencia.

Archivo N°4: El autor de correspondencia deberá presentar una lista de 5 potenciales revisores del artículo que cumplan los siguientes criterios (descargar modelo "evaluadores sugeridos"):

©2017, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.

- No ser del mismo país del autor de correspondencia. Si el autor de correspondencia trabaja en Brasil, el revisor propuesto NO puede estar vinculado a instituciones del mismo país del autor de correspondencia, es decir, "Brasil").

El formato de este archivo podrá realizarse en cualquier procesador de texto Word / LateX y se deberá aportar de cada potencial revisor la siguiente información:

- Nombres y Apellidos
- Filiación
- Grado académico
- Correo electrónico

Indicar brevemente la pertinencia de dicho revisor para la evaluación del manuscrito

El no cumplimiento de algunas de los requisitos de la presente normativa
podrá ser causal de rechazo AUTOMATICO del manuscrito.
Tome el debido tiempo para completar de manera correcta el proceso de envío.

©2017, Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador.