

AGRO
PRODUCTIVIDAD

AP



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
CONACYT DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

Sistema automático
de selección de
LIMÓN
(*Citrus Latifolia Tanaka*)
basado en
discriminación por color
pág. 73

Año 10 • Volumen 10 • Número 10 • octubre, 2017

Bacillus cereus: ALIMENTOS, SALUD Y BIOTECNOLOGÍA 3

HONGOS PRODUCTORES DE LIPASAS, UNA ALTERNATIVA AMIGABLE PARA
LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN MÉXICO 10

EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE *Sesamum indicum* L.,
TRATADO TÉRMICAMENTE EN HORNO CONVENCIONAL Y MICROONDAS 15

ANÁLISIS PRODUCTIVO Y ECONÓMICO DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE GANADO
BOVINO PARA CARNE EN TLATLAYA, ESTADO DE MÉXICO 22

CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN EL CULTIVO DE LA FRESA (*Fragaria xananassa*
Duch. var. festival) EN TENANCINGO Y VILLA GUERRERO ESTADO DE MÉXICO 29

NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA: BIONANOCOMPUESTOS
EN EMPAQUES DE ALIMENTICIOS 34

y más artículos de interés...

PRECIO AL PÚBLICO \$75.00 PESOS



COLEGIO DE
POSTGRADUADOS

Guía para autores

Estructura

Agroproductividad es una revista de divulgación científica y tecnológica, auspiciada por el Colegio de Postgraduados de forma mensual para entregar los resultados obtenidos por los investigadores en ciencias agrícolas y afines. En ella se publica información original y relevante para el desarrollo agropecuario, social y otras disciplinas relacionadas, en formato de artículo, nota o ensayo. Las contribuciones son arbitradas y la publicación final se hace en idioma español. La contribución debe tener una extensión máxima de 15 cuartillas, incluyendo las ilustraciones. Deberá estar escrita en Word a doble espacio empleando el tipo Arial a 12 puntos y márgenes de 2.5 cm. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las ilustraciones serán de calidad suficiente para su impresión en offset a colores, y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW.

La estructura de la contribución será la siguiente:

1) Artículos: una estructura clásica definida por los capítulos: Introducción, Resumen, abstract, objetivos, Materiales y Métodos, Resultados y Discusión, Conclusiones y Literatura Citada; 2) Notas, Ensayos y Relatorias: deben tener una secuencia lógica de las ideas, exponiendo claramente las técnicas o metodologías que se transmiten o proponen.

Formato

Título. Debe ser breve y reflejar claramente el contenido. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en *italicas*.

Autor o Autores. Se escribirán él o los nombres completos, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Al pie de la primera página se indicará el nombre de la institución a la que pertenece el autor y la dirección oficial, incluyendo el correo electrónico.

Cuadros. Deben ser claros, simples y concisos. Se ubicarán inmediatamente después del primer párrafo en el que se mencionen o al inicio de la siguiente cuartilla. Los cuadros deben numerarse progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Cuadro 1. Título), y se colocarán en la parte superior. Al pie del cuadro se incluirán las aclaraciones a las que se hace mención mediante un índice en el texto incluido en el cuadro.

Figuras. Corresponden a dibujos, fotografías, gráficas, diagramas. Las fotografías serán a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF o RAW y las gráficas o diagramas serán en formato de vectores (CDR, EPS, AI, WMF o XLS).

Unidades. Las unidades de pesos y medidas usadas serán las aceptadas en el Sistema Internacional.

Citas libros y Revistas:

- Bozzola J. J., Russell L. D. 1992. Electron Microscopy: Principles and Techniques for Biologists. Ed. Jones and Bartlett. Boston. 542 p.
- Calvo P., Avilés P. 2013. A new potential nano-oncological therapy based on polyamino acid nanocapsules. Journal of Controlled Release 169: 10-16.
- Gardea-Torresdey J. L., Peralta-Videa J. R., Rosa G., Parsons J. G. 2005. Phytoremediation of heavy metals and study of the metal coordination by X-ray absorption spectroscopy. Coordination Chemistry Reviews 249: 1797-1810.

El costo por publicación aceptada es \$3000.00 MX.

Año 10, Volumen 10, número 10, octubre 2017, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México. CP 56230. Tel. 5959284427. www.colpos.mx. Editor responsable: Dr. Jorge Cadena Iñiguez. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2017-031313492200-203. ISSN: "en trámite", ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, Subdirección de Organización y Cómputo del Colegio de Postgraduados, Dr. Martiniano Castro Popoca, Carretera México-Texcoco Km. 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, CP 56230. Tel. 58045980 ext. 1035. Fecha de última modificación, 31 de octubre de 2017.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Colegio de Postgraduados.





67

Contenido

3	<i>Bacillus cereus</i> : ALIMENTOS, SALUD Y BIOTECNOLOGÍA
10	HONGOS PRODUCTORES DE LIPASAS, UNA ALTERNATIVA AMIGABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN MÉXICO
15	EFFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE <i>Sesamum indicum</i> L., TRATADO TÉRMICAMENTE EN HORNO CONVENCIONAL Y MICROONDAS
22	ANÁLISIS PRODUCTIVO Y ECONÓMICO DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN TLATLAYA, ESTADO DE MÉXICO
29	CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN EL CULTIVO DE LA FRESA (<i>Fragaria xananassa</i> Duch. var. <i>festiva</i>) EN TENANCINGO Y VILLA GUERRERO ESTADO DE MÉXICO
34	NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA: BIONANOCOMPUESTOS EN EMPAQUES DE ALIMENTICIOS
39	NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. NANOPARTÍCULAS USADAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA CARNE
47	PERFIL DE LOS ÁCIDOS GRASOS Y SUS MODIFICACIONES EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE LOS BOVINOS
54	PROPIEDADES QUÍMICAS DE MO, Fe Y CIC DEL SUELO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ANÁLISIS DE IMÁGENES
62	DISEÑO DE UN INVERNADERO VERTICAL E INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA SU INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA
67	EFFECTOS EN LA CRISTALINIDAD DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (<i>Saccharum</i> spp.) POR PRETRATAMIENTOS QUÍMICOS USANDO DISPERSIÓN DE RAYOS X EN ÁNGULO AMPLIO (WAXS)
73	SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE LIMÓN (<i>Citrus Latifolia Tanaka</i>) BASADO EN DISCRIMINACIÓN POR COLOR
79	DRONES: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y MONITOREO DE FAUNA Y HÁBITATS
85	IMPORTANCIA DE LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES AMBIENTALES Y FUENTE PROMISORIA DE COMPUESTOS ANTICÁNCER
91	ENERGÍA ALTERNATIVA: PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA, OPCIÓN DE DESARROLLO EN LA VENTA, JUCHITÁN, OAXACA, MÉXICO
98	DESARROLLO DE LA MOTRICIDAD FINA EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL ESPÁSTICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TERAPIA PSICOMOTRIZ
103	CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y NUTRICIONAL DE PASTO ROSADO [<i>Melinis repens</i> (Willd.) Zizka] EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA
110	IMPORTANCIA DEL PASTO BUFFEL (<i>Pennisetum ciliare</i> L.) EN EL ESTADO DE TAMAULIPAS, MÉXICO
116	UNA APROXIMACIÓN FILOSÓFICA AL CONCEPTO DE NATURALEZA
121	DIAGNÓSTICO DEL CRECIMIENTO URBANO PARA LA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

SAGARPA
SECRETARÍA DE AGRICULTURA,
GANADERÍA, DESARROLLO RURAL,
PESCA Y ALIMENTACIÓN



CONACYT
ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA

EBSCO
INFORMATION SERVICES

USDA

latindex

CENGAGE
Learning

PERIÓDICA
Revista de Biología y Agrociencias en Ciencias

CABI

Clarivate
Analytics

CAB ABSTRACTS

Corrección de estilo: Hannah Infante Lagarda

Maquetación: Alejandro Rojas Sánchez

Suscripciones, ventas, publicidad, contribuciones de autores:

Guerrero 9, esquina Avenida Hidalgo, C.P. 56220, San Luis Huexotla, Texcoco, Estado de México.

Teléfono: 01 (595) 928 4703 jocadena@colpos.mx; jocadena@gmail.com

Impresión 3000 ejemplares.

Es responsabilidad del autor el uso de las ilustraciones, el material gráfico y el contenido creado para esta publicación.

Las opiniones expresadas en este documento son de exclusiva responsabilidad de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista del Colegio de Postgraduados, de la Editorial del Colegio de Postgraduados, ni de la Fundación Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas.

Directorio

Said Infante Gil
Editor General del Colegio de Postgraduados

Rafael Rodríguez Montessoro[†]
Director Fundador

Jorge Cadena Iñiguez
Director de Agroproductividad

Comité Técnico-Científico

Colegio de Postgraduados—Montecillo
Ma. de Lourdes de la Isla
Dr. Ing. Agr. Catedrática Aereopollución

Ángel Lagunes T.
Dr. Ing. Agr. Catedrático Entomología

Enrique Palacios V.
Dr. Ing. Agr. Catedrático Hidrociencias

Colegio de Postgraduados—Córdoba
Fernando Carlos Gómez Merino
Dr. Ing. Agr. Biotecnología

Colegio de Postgraduados—San Luis Potosí
Fernando Clemente Sánchez
Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Luis Antonio Tarango Arámbula
Dr. Ing. Agr. Fauna Silvestre

Instituto de Investigaciones Forestales,
Agrícolas y Pecuarias
Pedro Cadena I.
Dr. Ing. Agr. Transferencia de Tecnología

Carlos Mallen Rivera
M. C. Director de Promoción y Divulgación

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura
Victor Villalobos A.
Dr. Ing. Agr. Biotecnología

Instituto Interamericano de Cooperación
para la Agricultura
(Guatemala)
Manuel David Sánchez Hermosillo
Dr. Ing. Agr. Nutrición Animal y manejo de Pastizales

Servicio Nacional de Inspección y
Certificación de Semillas
(SNICS-SAGARPA)
Manuel R. Villa Issa
Dr. Ing. Agr. Economía Agrícola.
Director General



Dr. Jorge Cadena Iñiguez

Editorial

Volumen 10 • Número 10 • octubre, 2017.

México es un país rico por la diversidad genética que tienen sus ecosistemas y sus grupos humanos, sin embargo, para que ese patrimonio se convierta en bienestar para sus habitantes, es importante entender que en la economía actual, la riqueza no proviene de poseer recursos naturales, sino de generar nuevo conocimiento a partir de ellos y después, aprovecharlo mediante patentes. Algunos indicadores de avance o retroceso en México, podrían ser, el número de patentes, artículos científicos publicados, empresas creadas a partir del nuevo conocimiento en Agricultura, Educación y Negocios. Esta editorial fue escrita hace doce años por Juan Enríquez-Cabot (Mr. Gene=Señor Gen), Fundador del Programa de Ciencias de la Vida Escuela de Negocios Universidad de Harvard, y aun es vigente, parece que no hemos podido hacer la tarea. En este contexto, la Revista  abre sus contenidos a la divulgación de contribuciones que indiquen este tipo de avances en México, con el fin de divulgarlos como casos exitosos, y trascender más allá del artículo científico, el cumplimiento de los informes de proyectos de investigación, tesis y resúmenes de congresos, y en muchos casos, la evaluación permanente de recursos genéticos sin atreverse al registro legal, que bien merecen los guardianes o herederos de la agrobiodiversidad. La invitación es rescatarlos y divulgarlos y  puede ser una valiosa opción.

Dr. Jorge Cadena Iñiguez
Director de 

Bacillus cereus: ALIMENTOS, SALUD Y BIOTECNOLOGÍA

Bacillus cereus: FOOD, HEALTH AND BIOTECHNOLOGY

Cortés-Sánchez, A. de J.^{1*}; Díaz-Ramírez, M.²; Salgado-Cruz, M. de la P.³

¹CONACYT-Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Nayarit. Tepic, Nayarit. México. ²Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México. ³Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor, Benito Juárez, México, D.F., 03940, México.

*Autor de correspondencia: alecortes_1@hotmail.com

RESUMEN

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) son un tema de salud pública importante a nivel mundial debido a su incidencia, graves secuelas y mortalidad. Las ETA presentan diferentes agentes causales; entre ellos, los de origen biológico como virus, hongos, bacterias y parásitos. *Bacillus cereus* es considerado un patógeno oportunista y productor de toxiinfecciones alimentarias. La carne, verduras cocidas, arroz, sopas, leche, quesos y brotes de vegetales crudos son los alimentos generalmente involucrados en su incidencia. Este artículo muestra una perspectiva general de las ETA, en específico de aquellas que tienen como agente causal a *B. cereus*. Se incluye su bioquímica y metabolismo, así como algunas alternativas biotecnológicas de prevención y control de contaminación en alimentos.

Palabras clave: biosurfactantes, bioconservación, inocuidad alimentaria.

ABSTRACT

Foodborne diseases (FDs) are an important public health issue at the global level due to their incidence, serious sequels and mortality. FDs present different causal agents, among them those of biological origin such as viruses, fungi, bacteria and parasites. *Bacillus cereus* is considered an opportunistic pathogen and producer of food poisoning. Meat, cooked vegetables, rice, soups, milk, cheese and raw vegetable sprouts are the foods generally involved in its incidence. This article shows a general perspective of the FDs, specifically of those that have *B. cereus* as causal agent. Their biochemistry and metabolism is included, as well as some biotechnological alternatives for prevention and contamination control in foods.

Keywords: biosurfactants, bioconservation, food innocuousness.



INTRODUCCIÓN

Las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) son consideradas un tema de salud pública importante a nivel mundial, debido a su incidencia, mortalidad, nuevas formas de transmisión, grupos poblacionales vulnerables, aumento de la resistencia de agentes causales a compuestos antimicrobianos, así como por los efectos negativos en la economía por costos en servicios de salud, productividad, demandas y confianza de los consumidores (Badui, 2015). Las ETA se originan por el consumo de agua y alimentos contaminados con agentes nocivos que afectan la salud del consumidor y tienen alrededor de 250 agentes causales entre los que se encuentran bacterias, virus, hongos, parásitos, priones, toxinas y metales, siendo las de mayor frecuencia las originadas por bacterias, tales como *Salmonella* spp., *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Escherichia coli* O157:H7, entre otras (Puig et al., 2013).

Las ETA se clasifican en: a) infecciones alimentarias causadas por el consumo de alimentos que contienen microorganismos patógenos que generan la invasión, multiplicación y alteración de los tejidos del huésped, como por ejemplo la salmonelosis y listeriosis; b) intoxicaciones por consumir alimentos que contienen un compuesto químico, metal o toxina de origen vegetal, animal o microbiano (botulismo, toxinas fúngicas, toxinas marinas, estafilocócica); y c) toxiinfecciones en las que los alimentos contaminados con microorganismos patógenos no invasivos, al ser consumidos, se producen o liberan toxinas durante el desarrollo del microorganismo en el sistema gastrointestinal, ejemplos de ellos son *Bacillus cereus*, *Yersinia enterocolitica* y *Vibrio Cholerae* (Muñoz, 2014). El género *Bacillus* pertenece a la familia Bacillaceae, en la cual se han descrito más de 50 especies; la mayor parte de estos microorganismos son saprofitos y se encuentran ampliamente distribuidos en el medio ambiente como en el suelo, agua dulce y salada, alimentos, materia vegetal y tracto gastrointestinal de los animales. Desde el punto de vista clínico, con mayor importancia para el hombre se encuentran *B. anthracis* agente causal de carbunco y *B. cereus* productor de intoxicaciones e infecciones clínicas, tales como la bacteremia, septicemia, infecciones del sistema nervioso, sistema respiratorio, meningitis, endocarditis, pericarditis, abscesos, infecciones oculares, entre otras. Además, enfermedades originadas por otras especies no están exentas, ya que *B. subtilis*, *B. megaterium*, *B. macerans*, entre otros, pueden actuar como patógenos oportunistas. Los miembros del género se caracterizan por ser bacilos cuyas células vegetativas presentan un intervalo de tamaño de 0.5×1.2 a $2.5 \times 10 \mu\text{m}$ de diámetro, son móviles debido a flagelos peritricos, aerobios y anaerobios facultativos, gram positivos, catalasa positiva, de hemólisis variable y crecimiento óptimo a pH entre 5.5-8.5 presentan un contenido de G+C de 33-69 mol %, acidofilia, alcalofilia, psicofilia y termofilia. Son capaces de producir endosporas (formas de resistencia a condiciones ambientales o nutricionales adversas), mientras que en agar sangre, producen colonias blanquecinas, grandes, extendidas e irregulares (Tejera et al., 2011; Brooks et al., 2011; Layton et al., 2011). Bajo estudios moleculares de RNAr 16S, el género *Bacillus* se ha subdividido en cuatro grupos: 1) *Bacillus* sensu stricto, en el cual se incluye *B. subtilis* entre otras 27 especies; 2) *Sensu lato*, que agrupa bacilos formadores de esporas redondeadas, desta-

cando especies como *B. cereus*, *B. thuringiensis* y *B. anthracis*; 3) constituido por 10 representantes, dentro de los que se encuentra *B. polymyxa* y *B. macerans*, los cuales se han reclasificado en un nuevo género, *Paenibacillus*; y 4) que son especies que han sido reclasificadas en dos nuevos géneros *Aneuribacillus* y *Brevibacillus* además de que se ha nombrado como nuevo género a *Virgibacillus*, en el que se ubicó la especie *B. panthotenicus* (Tejera et al., 2011). Estas especies también pueden diferenciarse a través de pruebas fenotípicas, como actividad hemolítica, movilidad, metabolismo de manitol, entre otras (Cuadro 1) (Koneman et al., 2008; Sánchez et al., 2016).

Diferentes especies presentan utilidad para el ser humano, pues son utilizadas como indicadores de desinfección o esterilización; asimismo, son capaces de producir antibióticos, vitaminas, enzimas, intervenir en la solubilización de fosfatos, fijación biológica del nitrógeno, o pueden ser productoras de compuestos anfipáticos denominados biosurfactantes, los cuales han mostrado propiedades fisicoquímicas y biológicas de interés en diversas áreas industriales, tales como la farmacéutica, alimentos y ambiental, entre otras (Kim et al., 2010; Gharaei-Fathabad, 2011; Jacques, 2011).

Bacillus cereus

Es un bacilo de $1-1.2 \mu\text{m}$ de diámetro $\times 3-5 \mu\text{m}$ de largo, Gram positivo, móvil (flagelos peritricos), anaerobio facultativo que puede crecer en un intervalo de pH de 4.9-9.3, actividad de agua mínima de 0.93, temperatura de 4 °C a 48 °C y concentraciones de NaCl hasta de 7 %. Es capaz de formar esporas, las cuales son resistentes a

Cuadro 1. Características metabólicas de identificación en el laboratorio entre especies del género *Bacillus* spp.

Análisis	<i>B. cereus</i>	<i>B. anthracis</i>	<i>B. thuringiensis</i>	<i>B. mycoides</i>
Crecimiento colonial en agar sangre	Ligeramente verdes	Gris-blanco a blanco; menor que <i>B. cereus</i>	Ligeramente verdes	Colonias rizoides con parte posterior marcada
Movilidad	+	–	+	–
Catalasa	+	+	+	+
Hidrolisis urea	V	–	+	V
Reducción nitratos	+	+	+	+
Hemolisis	+	–	+	+
Hidrolisis almidón	+	+	+	+
Arginina dihidrolasa	V	–	+	V
Generación de ácido a partir de:				
Manitol	–	–	–	–
Trehalosa	+	+	+	+
Arabinosa	–	–	–	–
Glicerol	–	+	+	+

(+) reacción positiva, (–) reacción negativa, (V): reacción variable.

baja humedad, altas temperaturas, deshidratación, radiación y acidez. *B. cereus* es un habitante habitual saprofita de suelo, agua, vegetación y aire, que es de interés en salud pública por ser considerado un patógeno oportunista productor de toxi-infecciones alimentarias, por consumir carne, verduras cocidas, arroz, crema de vainilla, sopas, leche, quesos y brotes de vegetales crudos los involucrados en estas enfermedades (Figura 1) (Manzo *et al.*, 2005; Pérez, 2012; Tejeda *et al.*, 2013; Sánchez *et al.*, 2016). Se estima que *B. cereus* afecta de manera negativa la salud por la producción de toxinas al consumir alimentos contaminados con inóculos de 10^5 a 10^8 UFC/g (Coto *et al.*, 2012).

Este microorganismo presenta diferentes factores de virulencia para generar enfermedades, como es la presencia de un polipéptido cíclico hidrofóbico menor a 10 kDa termoestable

(hasta 126 °C durante 90 minutos), resistente a pH entre 2 y 11 y a la actividad proteolítica de enzimas digestivas, conocido como toxina emética o cereulida (Drobniewski,

1993; Pérez, 2012; Sánchez *et al.*, 2016). Esta toxina es sintetizada a inicio de la fase estacionaria; está codificada en un operon de un plásmido de 208 Kb que consta de los genes, *cesH*, *cesP*, *cesT*, *cesA*, *cesB*, *cesC* y *cesD*, además de estar asociada a la esporulación. Al ser ingerida puede causar náuseas y vómitos al unirse a receptores estomacales 5-HT₃; además, puede afectar la fosforilación oxidativa en mitocondrias de hepatocitos así como los gradientes de concentración de iones potasio transmembranal para el funcionamiento celular normal (Sánchez *et al.*, 2016). *B. cereus*, cuya expresión está regulada por una proteína pleotrópica (PlcR), produce cromosomalmente cinco enterotoxinas; posteriormente a la colonización de intestino delgado, estas originan poros en las membranas de células epiteliales, dando lugar a un desequilibrio osmótico que provoca diarrea. Las enterotoxinas son: a) la hemolisina



Figura 1. Arroz y leche alimentos comúnmente implicados en enfermedades por *B. cereus*.

(HBL), constituida por tres componentes proteicos uno de unión B y dos líticos L₁ y L₂, y codificada por el operon hblCDA (*hblA*, *hblD* y *hblC*, respectivamente); b) enterotoxina no hemolítica (NHE) en un grupo de tres proteínas NheA, NheB, y NheC, codificadas por los genes *nheA*, *nheB*, y *nheC*, respectivamente; c) citotoxina K (*CytK*), la cual es citotóxica y necrotizante y tiene actividad sobre membrana de células epiteliales generando poros en esta; d) enterotoxina FM (EntFM) codificada en el gen *entFM* se ha localizado en cepas implicadas en brotes diarreicos; y e) enterotoxina T o (EntT) (Pérez et al., 2012; Sánchez et al., 2016). Además, produce dos lipasas como la fosfatidilcolina, fosfatidilinositol hidrolasa y esfingomielinasa (Drobniewski, 1993; Pérez et al., 2011; Pérez, 2012).

Bacillus cereus da lugar a dos formas clínicas de enfermedad a través del consumo de alimentos contaminados; una es el síndrome emético causado por el consumo de la toxina emética producida durante el crecimiento de la bacteria sobre el alimento y la segunda el síndrome diarreico producido por toxinas diarreicas (HBL, NHE y citotoxina K) producidas por la bacteria durante el crecimiento de las formas vegetativas en el intestino o posterior a la germinación de las esporas (Manzo et al., 2005; Wijnands et al., 2009; Pérez, 2012). A pesar de la potencialidad de cepas de *B. cereus* para generar enfermedad, la gravedad de la misma dependerá de la cantidad de toxina producida, la cual a su vez está asociada a factores como la composición del alimento, pH, aireación y concentración de determinados carbohidratos, así como a la condición inmunológica del individuo afectado (Pérez et al., 2012). Los reportes de ETA en México, cuyo agente causal es *B. cereus*, no son de carácter obligatorio y prácticamente no hay estudios acerca de estas enfermedades, debido posiblemente a la baja mortalidad y autolimitación, y a que la sintomatología de sus padecimientos se asemejan a los generados por *S. aureus* y *Clostridium perfringens* (Coto et al., 2012; Pérez et al., 2012; Tejeda et al., 2013).

Estudios realizados en el país de Cuba reportan que *B. cereus* estuvo implicado en un brote de ETA en la Habana en el período 2006-2010, correspondiente a 1.3 % de los agentes causales (Puig et al., 2013). En Estados Unidos de América las enfermedades esporádicas ocasionadas por *B. cereus*, *C. perfringens* y *S. aureus* no son reportadas. Sin embargo, un estudio realizado en el período 1998-2008 reportó que hubo 13,405 brotes en total, de los cuales 1, 229 fueron originados por alguno de los

siguientes patógenos, *C. perfringens* (44 %, n=536 brotes), seguido de *S. aureus* (37 %, n=458) y de *B. cereus* (19 %, n=235) (Bennet et al., 2013). Además, en países de Europa como España, a través de la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica se reportó que del periodo 2004-2007 ocurrieron 20 brotes de ETA, cuyo agente causal fue *B. cereus*, correspondiente a 0.6 % del total de 3511 brotes, siendo los huevos y ovoproductos los alimentos más implicados con 31.5 % (Martínez, 2008).

Prevención

Los alimentos son un vehículo de transmisión de enfermedades generadas por agentes biológicos, debido a que se puede contaminar con el aire, agua, suelo, animales, utensilios, el hombre, durante la producción primaria, elaboración, transporte, almacenamiento, y distribución. El control de *B. cereus* es complicado por su capacidad de generar esporas y sobrevivir a diferentes condiciones adversas, además de su habilidad de generar biopelículas en sistemas y equipos hidráulicos. La contaminación de los alimentos por *B. cereus* y toxinas involucra temperaturas de cocción inadecuadas, equipos contaminados, higiene deficiente en el sitio de elaboración y conservación de alimentos antes de su consumo (Sánchez et al., 2016; Manzo et al., 2005), por lo que es necesario implementar acciones de control y prevención en toda la cadena alimentaria basadas en buenas prácticas agrícolas, buenas prácticas de higiene en la manipulación, elaboración y conservación de alimentos, así como sistemas de control, análisis de peligros y puntos críticos de control (Elika, 2015; OMS, 2007). En Europa se han establecido criterios microbiológicos normativos referentes a este microorganismo aplicables a los productos alimenticios de alto riesgo con sus posteriores modificaciones para la industria alimentaria, con la finalidad de asegurar la inocuidad del alimento; tal es el caso del Reglamento (CE) 2073/2005, de la comisión de las comunidades europeas del 15 de noviembre de 2005 para preparados deshidratados para lactantes y alimentos dietéticos deshidratados dirigidos a usos médicos especiales para lactantes menores de seis meses, donde menciona que el límite permisible es de 50-500 UFC/g en el alimento en la fase final del proceso de fabricación, siendo las acciones de mejora, la higiene de la producción, prevención de la recontaminación y selección de las materias primas en caso de que el producto no cumpla con el límite permisible (Elika, 2015; Reglamento, 2005), mientras que en países latinoamericanos como el Perú, a través de la resolución ministerial del año 2008 (N° 615-2003 SA/DM), se aprobaron los criterios microbiológicos de

calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano donde se incluyen para *B. cereus* en productos alimenticios deshidratados: liofilizados, concentrados y mezclas un límite de 100 a 1000 UFC/g (Resolución ministerial, 2008), mientras que en México en materia de higiene e inocuidad en la producción de alimentos se ha implementado de manera obligatoria la norma oficial mexicana NOM-251-SSA1-2009, referente a las prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios destinados a los consumidores en el territorio nacional y que involucra la aplicación de un sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP), afín de garantizar la inocuidad en la industria alimentaria y evitar riesgos a la salud de la población.

Controles biotecnológicos para *B. cereus*

La bioconservación es una alternativa biotecnológica de conservación y prevención de enfermedades alimentarias por *B. cereus* y otros microorganismos que ha adquirido relevancia en los últimos años y se define como el uso de microorganismos o de sus metabolitos generados (ácido láctico, ácido acético, etanol, diacetilo, peróxido de hidrógeno, 2-3 butanodiol, péptidos, bacteriocinas entre otros) para inhibir o destruir microorganismos indeseables en alimentos, siendo incluso algunos de estos metabolitos de origen proteico considerados como alternativa para combatir el fenómeno de resistencia a los antimicrobianos, debido al uso indiscriminado en el área clínica y agropecuaria (Ramírez et al., 2011; Rojas y Vargas, 2008; Tonarelli y Simonetta, 2013).

Las bacteriocinas constituyen un conjunto diverso de péptidos ribosomales elongados o globulares generados por microorganismos como las BAL (bacterias ácido lácticas) y que son comúnmente reconocidos como seguros; han tomado relevancia en los últimos años como relevo de diversas sustancias utilizadas en el proceso de conservación de alimentos, ya que al ser purificadas, semi purificadas o bien incorporar la cepa productora (fermentación) al producto puede reducir o eliminar diferentes microorganismos que van desde los responsables del deterioro hasta diversos patógenos (Rojas y Vargas, 2008). Un ejemplo del uso de bacteriocinas enfocadas para el control antimicrobiano de *B. cereus* es el que se realizó en el arroz almacenado (*Oryza sativa* L.), donde la bacteriocina denominada enterocina AS-48 producida por *Enterococcus* ssp., al adicionarse (20-35 $\mu\text{g mL}^{-1}$), presentó un efecto antimicrobiano y de control para *B. cereus* a diferentes temperaturas (37 °C, 15 °C y 6 °C), ya

que los recuentos de células viables disminuyeron durante el tiempo de incubación, dependiendo de la concentración de bacteriocina, temperatura de incubación y la muestra de alimento. La producción de enterotoxina a 37 °C fue inhibida, mientras que la sensibilidad al calor por parte de las endosporas aumentó en las muestras adicionadas con enterocina, consiguiendo la inactivación de endosporas mediante un calentamiento durante 1 minuto a 90 °C en arroz hervido y 95 °C en papilla a base de arroz (Grande et al., 2006).

Los biosurfactantes (BS), producidos por hongos, levaduras y bacterias, generalmente como metabolitos secundarios extracelulares, presentan propiedades, tales como la capacidad emulsionante, baja toxicidad, alta biodegradabilidad, alta capacidad espumante, actividad biológica (antimicrobiana, antitumoral e inmunomoduladora), estabilidad a condiciones de temperatura, pH y salinidad, que han despertado el interés de su utilidad en diversas industrias (alimentos, farmacéutica, medio ambiente, petróleo entre otras) (Nitschke y Costa, 2007; Saharan et al., 2011; Mora et al., 2005). En el aspecto de higiene e inocuidad en los alimentos los BS despiertan el interés en cuanto a su utilidad como antimicrobiano y anti adhesivo sobre *B. cereus* y otros patógenos de interés en la industria de alimentos que son capaces de generar biopelículas y, por ende, ser una fuente de contaminación (Vanegas et al., 2009). Las biopelículas constituyen un mecanismo de supervivencia microbiana en el medio ambiente y de mayor resistencia a los antimicrobianos en comparación con las células planctónicas, provocando que su eliminación en el ámbito de los alimentos sea un desafío (Simoes et al., 2010). En este aspecto los BS han dado resultados alentadores al ser probados a través de diversas investigaciones en su actividad antimicrobiana y antiadhesiva, evitando la formación de biopelículas de diversos microorganismos patógenos, incluyendo especies del género *Bacillus* sp.; tal es el caso de soforolípidos de *Candida bombicola* que presentaron un efecto bactericida a concentraciones de 5 % en *Cupriavidus necator* y *Bacillus subtilis*, así como interrumpir la formación de biopelículas de *B. subtilis* y *Staphylococcus aureus* (De Rienzo et al., 2015), mientras que Kiran et al. (2010) reportaron que un biosurfactante producido por *Brevibacterium casei* en cultivo sumergido presentó actividad bacteriostática e interrupción de biopelículas de diferentes patógenos como *E. coli*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Klebsiella pneumoniae* entre otros. *B. cereus* es un microorganismo causante de enfermedades transmitidas a través de los alimentos (ETA), las

cuales son consideradas un problema de salud pública importante alrededor del mundo debido a su incidencia y repercusiones negativas en aspectos económico-sociales. Estas se generan de dos formas clínicas; uno es el síndrome emético derivado del consumo de la toxina emética producida durante el crecimiento de la bacteria en el alimento y el síndrome diarreico producido por toxinas generadas durante su crecimiento en el intestino.

CONCLUSIONES

Para la prevención y control de *B. cereus* se han desarrollado e implementado diferentes acciones que involucran las buenas prácticas de manufactura, manipulación e higiene y sistemas de análisis de riesgos y control de puntos críticos a lo largo de la cadena de alimentaria, así como criterios microbiológicos de aceptación en alimentos. Además, se han propuesto diferentes alternativas biotecnológicas, como es el uso de diferentes compuestos obtenidos de microorganismos (bacterias, hongos y levaduras), tales como los biosurfactantes y/o bacteriocinas, para la conservación del alimento y la prevención de enfermedades derivadas de su consumo, a fin de salvaguardar la salud de la población.

LITERATURA CITADA

- Badui D.S. 2015. Inocuidad en la industria alimentaria. Industria Alimentaria 14-26.
- Brooks G.F., Carroll K.C., Butel S.J., Morse A. S., Mietzner T. A. 2011. Jawetz, Melnick y Adelberg: Microbiología Médica. McGraw Hill Interamericana editores. 820 p.
- Bennett S.D., Walsh K.A., Gould L.H. 2013. Foodborne disease outbreaks caused by *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, and *Staphylococcus aureus*-United States, 1998-2008. Clinical Infectious Diseases 57:425-433.
- Coto R., Chaves C., Gamboa M. del M., Arias M.L. 2012. Calidad bacteriológica y detección de *Bacillus cereus* toxigénicos en arroz blanco cocido expendido en el área metropolitana de la provincia de San José, Costa Rica. Archivos latinoamericanos de nutrición 62:283-289.
- De Rienzo M. A. D., Banat I. M., Dolman B., Winterburn J., Martin P. J. 2015. Sophorolipid biosurfactants: possible uses as antibacterial and antibiofilm agent. New biotechnology 32: 720-726.
- Drobniowski F. A. 1993. *Bacillus cereus* and related species. Clinical microbiology reviews 6: 324-338.
- ELIKA. 2015. Fundación vasca para la seguridad alimentaria. *Bacillus cereus*. http://www.elika.eus/datos/pdfs_agrupados/Documento151/8Bacillus_act2015.pdf
- Gharaei-Fathabad E. 2011. Biosurfactants in pharmaceutical industry: a mini-review. American Journal of Drug Discovery and Development 1: 58-69.
- Grande M. J., Lucas R., Abriouel H., Valdivia E., Omar N. B., Maqueda M., Martínez-Bueno M., Martínez-Cañamero M., Gálvez A. 2006. Inhibition of toxicogenic *Bacillus cereus* in rice-based foods by enterocin AS-48. International Journal of Food Microbiology 106:185-94.
- Jacques P. 2011. Surfactin and other lipopeptides from *Bacillus* spp. In Biosurfactants Springer Berlin Heidelberg. 57-91.
- Kim P. I., Ryu J., Kim Y. H., Chi Y. T. 2010. Production of biosurfactant lipopeptides Iturin A, fengycin and surfactin A from *Bacillus subtilis* CMB32 for control of *Colletotrichum gloeosporioides*. Journal of Microbiology and Biotechnology 20: 138-145.
- Kiran G.S., Sabarathnam B., Selvin J. 2010. Biofilm disruption potential of a glycolipid biosurfactant from marine *Brevibacterium casei*. FEMS Immunology & Medical Microbiology 59: 432-438.
- Koneman Elmer W., Winn Washington C., Janda William M., Wodds Gail, L., Procop, W. Gary, Schereckenberger Paul, C. Allen Stephen. 2008. Koneman. Diagnóstico Microbiológico: Texto Y Atlas En Color. 6ta edición, Ed. Médica Panamericana, - 1691 p.
- Layton C., Maldonado E., Monroy L.C., Corrales L., Sánchez C.L. 2011. *Bacillus* spp. perspectiva de su efecto biocontrolador mediante antibiosis en cultivos afectados por fitopatógenos. NOVA - Publicación Científica en ciencias biomédicas 113 - 214.
- Manzo S.A., Natividad R.D.L., Quiñónez R.E. I., Vázquez S.C. 2005. *Bacillus cereus*: peligro bajo el tenedor. Revista Digital Universitaria. 6:4.
- Martínez E.V., Varela M.C., Cevallos C., Hernández-Pezzi G., Torres A., Ordóñez P. 2008. Brotes de enfermedades transmitidas por alimentos. España, 2004-2007 (excluye brotes hídricos). Boletín epidemiológico semanal España. Ministerio de ciencia e innovación. Centro nacional de epidemiología. Semana: 48 del 23/11 al 29/11 de 2008. 16:21/241-252.
- Mora M.S., Bahsas A., Velásquez W., Rojas J.O. 2005. Caracterización de Biosurfactantes producidos por *Pseudomonas* Fluorescentes aisladas de emulsiones de petróleo pesado. Ciencia 13: 228-239.
- Muñoz Esquivel A.F. 2014. Generalidades de las intoxicaciones, infecciones y toxiinfecciones producidas por alimentos contaminados en costa rica. Contexto actual e impacto socioeconómico en la nación, a propósito de un Estudio de Caso y Consultoría internacional. Revista Científica Médica OMNIA.
- Norma Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009, Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios.
- OMS 2007. Organización mundial de la salud. Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos. ISBN 978 92 4 359463 7 http://www.who.int/foodsafety/publications/consumer/manual_keys_es.pdf
- Pérez Portuondo I. 2012. *Bacillus cereus* and food poisoning. Revista Cubana de Salud Pública 38: 98-108.
- Pérez-Portuondo I., Orberá-Ratón T., Tamayo-Núñez J.L. 2011. Aislamiento e identificación de *Bacillus cereus* a partir de dos variantes de arroz comercial (*Oryza sativa* L.). Revista CENIC Ciencias Biológicas 42: 139-144.
- Puig P.Y., Leyva C.V., Robert M.B.A., Pérez Muñoz Y. 2013. Bacterial agents associated with outbreaks of food-borne diseases in Havana, 2006-2010. Revista Cubana de Higiene y Epidemiología 51: 74-83.
- Ramírez J., Ulloa P.R., Velázquez M.Y., González J.A.U., Romero F.A. 2011. Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. Revista Fuente 2(7).
- REGLAMENTO (CE) no 2073/2005 DE LA COMISIÓN de 15 de noviembre de 2005 relativo a los criterios microbiológicos aplicables a los productos alimenticios (DO L 338 de

- 22.12.2005, p. 1). <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2005R2073:20100519:ES: PDF>
- Resolución Ministerial No. 591-2008/MINSA. República del Perú. Ministerio de salud. <ftp://ftp2.minsa.gob.pe/normaslegales/2008/RM591-2008.pdf>
- Rojas C., Vargas P. 2008. Bacteriocinas: sustituto de preservantes tradicionales en la industria alimentaria. *Tecnología en Marcha* 21-2: 9-16.
- Saharan B.S., Sahu R.K., Sharma D. 2011. A review on biosurfactants: fermentation, current developments and perspectives. *Genetic Engineering and Biotechnology Journal* 1: 1-14.
- Sánchez J., Correa M., Castañeda-Sandoval L.M. 2016. *Bacillus cereus* an important pathogen the microbiological control of food. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública* 34(2): 230-242.
- Simões M., Simoes L. C., Vieira M. J. 2010. A review of current and emergent biofilm control strategies. *LWT-Food Science and Technology* 43: 573-583.
- Tejeda-Trujillo F., Villagrán-Padilla C.L., León-Tello G., Tejeda-Hernández M.A. 2013. Investigación de *Bacillus cereus* y calidad sanitaria de muestras de arroz cocido recolectadas en diferentes establecimientos de la ciudad de Puebla. *CienciaUAT* 8: 48-51.
- Tejera-Hernández B., Rojas-Badía M.M., Heydrich-Pérez M. 2011. Potencialidades del género *Bacillus* en la promoción del crecimiento vegetal y el control biológico de hongos fitopatógenos. *Revista CENIC. Ciencias Biológicas* 42: 131-138.
- Tonarelli G., Simonetta A. 2013. Péptidos antimicrobianos de organismos procariotas y eucariotas como agentes terapéuticos y conservantes de alimentos. *Revista FABICIB* 17: 137-177.
- Torrens H.R., Argilagos G.B., Cabrera M.S., Valdés J.B., Sáez S.M., Viera G.G. 2015. Las enfermedades transmitidas por alimentos, un problema sanitario que hereda e incrementa el nuevo milenio. *REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria* 16: 1-27.
- Vanegas M., Correa N., Morales A., Martínez A., Rúgeles L., Jiménez F. 2009. Antibiotic resistance of bacteria isolated from biofilms in a food processing plant. *Revista MVZ Córdoba* 14:1677-1683.
- Wijnands L.M., Pielaat A., Dufrenne J.B., Zwietering M.H., van Leusden F.M. 2009. Modelling the number of viable vegetative cells of *Bacillus cereus* passing through the stomach. *Journal of Applied Microbiology* 106: 258-267.



HONGOS PRODUCTORES DE LIPASAS, UNA ALTERNATIVA AMIGABLE PARA LA PRODUCCIÓN DE BIODIESEL EN MÉXICO

LIPASE PRODUCING FUNGI, A FRIENDLY ALTERNATIVE FOR THE PRODUCTION OF BIODIESEL IN MEXICO

Hernández-Gómez, E.^{1*}; Reyes-Reyes, A.L.^{1,2}; Garrido-Ramírez, E.R.¹; Solís-Bonilla, J.L.¹; Nájera-Domínguez, W.¹

¹INIFAP Campo Experimental Rosario Izapa, Km. 18 Carretera Tapachula-Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas, México: 30870. ²INIFAP Campo Experimental Centro de Chiapas, Km. 3 Carretera Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinoza, Chiapas, México: 29140.

*Autor de correspondencia: garrido.eduardo@inifap.gob.mx

RESUMEN

La exploración de soluciones para resolver problemas de energía lleva a la búsqueda de alternativas para la producción de biocombustibles que no produzcan impactos negativos al ambiente. El uso de microorganismos del suelo capaces de derivar biocombustibles a través de la producción de lipasas especialmente hongos es una valiosa alternativa. Se recolectaron muestras de suelo en diferentes localidades del estado de Chiapas, México para detectar e identificar morfológicamente y molecularmente a hongos productores de lipasas. Se determinaron los géneros *Penicillium* y *Aspergillus*, donde el primero presentó conidios en estructura ramificada, fialides y conidios globosos u ovoides, seguido de *Aspergillus niger*, en el que se observaron conidióforos verticales, simples, con terminaciones globosas, fialides y conidios unicelulares. Molecularmente se identificaron los hongos *Aspergillus niger*, *Penicillium griseofulvum*, *A. oryzae*, *P. janthinellum* y *P. verrucosum*, y asociados a producción lipolítica, aunque no se realizaron evaluaciones de su capacidad de producir las enzimas bajo diferentes sistemas de fermentación.

Palabras clave: producción lipolítica, fermentación, suelo.

ABSTRACT

The exploration of solutions to solve energy problems leads to the search for alternatives for the production of biofuels that do not have negative impacts on the environment. The use of soil microorganisms capable of deriving biofuels through lipase production, especially fungi, is a valuable alternative. Soil samples were collected in different localities of the state of Chiapas, México, to detect and identify morphologically and molecularly lipase producing fungi. The genera *Penicillium* and *Aspergillus* were determined, where the first presented conidia in ramified structure, phialides, and globular and ovoid conidia, followed by *Aspergillus niger* where vertical, simple conidiophores, with globular endings, phialides and unicellular conidia were observed. Molecularly, the fungi *Aspergillus niger*, *Penicillium griseofulvum*, *A. oryzae*, *P. janthinellum* and *P. verrucosum* were identified, and associated to lipolytic production, although no evaluations were carried out of their capacity for producing the enzymes under different fermentation systems.

Keywords: lipolytic production, fermentation, soil.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 10-14.

Recibido: marzo, 2017. **Aceptado:** agosto, 2017.



INTRODUCCIÓN

El mundo comienza a disminuir la dependencia de combustibles fósiles con el impulso al uso de energías renovables; esto ha fomentado el desarrollo de tecnología para el campo energético y aprovechamiento sustentable de recursos naturales (PND, 2013). El crecimiento económico de México sigue estrechamente vinculado a la emisión de compuestos de efecto invernadero, generación excesiva de residuos sólidos, contaminantes a la atmósfera, aguas residuales no tratadas, y pérdida de bosques y selvas. En este contexto, el biodiesel producido a través de cultivos ricos en aceite representa una opción para sustituir a los combustibles de origen fósil (Álvarez *et al.*, 2007). Se estima que el biodiesel derivado de los cultivos oleaginosos, de las grasas animales y aceites comestibles reciclados será insuficiente para satisfacer las demandas del transporte. Por lo anterior, es recomendable contar con diversas fuentes de aceites para una producción sustentable de biodiesel, a fin de abastecer la necesidad de los biocombustibles (Álvarez *et al.*, 2007). Las fuentes de aceites para la producción de biodiesel pueden ser vegetales, animales, aceites reciclados y microorganismos, aunque no todos son de buena calidad para la producción de biocombustibles, pues la calidad del mismo depende de la composición de los ácidos grasos que componen los aceites (Martínez *et al.*, 2011a; Martínez *et al.*, 2011b). Uno de los métodos de producción de biodiesel promisorios surgido recientemente es el uso de microorganismos como fuente de producción de aceites para la posterior transformación en biodiesel. El uso

de hongos como fuentes de aceites para la producción de biodiesel está siendo explorado, actualmente en México, partiendo de microorganismos que poseen la capacidad de producir y acumular grandes cantidades de aceites a partir de diversas fuentes de carbono, tales como los azúcares, sales orgánicas, hidrocarburos, entre otras. Las lipasas (triacilglicerol acilhidrolasas) poseen la capacidad de hidrolizar triglicéridos (Schmid y Verger, 1998); pueden ser de origen bacteriano, fúngico, pancreático, hepático y gástrico, y actualmente tienen diversos usos y aplicaciones, pues poseen potencial como catalizadores en medios orgánicos (Pandey *et al.*, 1999), son usadas también como catalizadores en hidrólisis de aceites y grasas para producir ácidos grasos y glicerol nivel industrial, mostrando mejores propiedades en olor, color y sabor en los productos de la industria alimentaria como quesos y mantequilla, y reducción en los costos de producción. De la misma forma, son utilizadas como catalizadores en la formación de esteres a partir de alcoholes y ácidos grasos, de los cuales se obtienen mayores rendimientos en la reacción. Son ocupados como aditivos en los detergentes para degradar restos de sustratos lípidos que puedan estar presentes en la ropa y se asocian con cultivos microbianos en depósitos para eliminar grasas en paredes de tuberías, en tratamientos de aguas residuales, degradación biológica de efluentes industriales como frigoríficos, mataderos, industrias lácteas y alimentarias (Lie y Molin, 1991; Gandhi, 1997; Pandey *et al.*, 1999). Otros usos incluyen los alimentos para animales domésticos, la industria farmacéutica, química fina, cosméticos, oleoquímicos, cueros, pulpa de celulosa, papel, tratamiento de residuos industriales y también en el área la producción de biodiesel (De Castro *et al.*, 2004; Colla *et al.*, 2010). Las lipasas pueden ser obtenidas de diverso origen y su obtención a través de procesos fermentativos de muchos microorganismos, tales como hongos filamentosos, bacterias y levaduras (Jaeger *et al.*, 1994; Rapp y Backhaus, 1992). La gran mayoría de los hongos presenta capacidad de producir lipasas (Cochrane, 1958; Trigiano y Fergus, 1979). Se ha reportado la disponibilidad comercial de lipasas derivadas de 34 diferentes microorganismos, incluyendo 18 a partir de hongos y siete de bacterias (Jaeger *et al.*, 1999). Algunos hongos reportados con capacidad lipolítica son: *Chromobacterium viscosum*, *Mortierella vinacea*, *M. alpine*, *Rizophus chinensis*, *R. orizae*, *R. microspores*, *Saccharomyces cerevisiae*, *Pytium debaryanu*, *Mucor circinelloides*, *Aspergillus ochraceus*, *A. terreus*, *Malbranchea rouxii*, *Malbranchea mucedo*, *Malbranchea anmaniana*, *Malbranchea isabellina*, *Penicillium iilacinum*, *Hensemulo*, *Cladosporium*, *Chaetomium*, *Malbranchea*, *Yarrowia lipolítica* (Ratledge, 1989, 2002; Hannson *et al.*, 1989; Certik *et al.*, 1993; Hiruta *et al.*, 1997; Corzo y Reva, 1999; Domínguez *et al.*, 2003; Seraphim *et al.*, 2004; Shah *et al.*, 2004; Pérez, 2012; Zago *et al.*, 2014). Actualmente las lipasas son estudiadas para la producción de biocombustibles, los cuales pueden ser alternativos al diésel del petróleo y a partir de aceites vegetales (Fukuda *et al.*, 2001; Goodrum y Eiteman, 1996). La producción de aceites a partir de microorganismos parece ser una alternativa promisoriosa para la producción de materia prima para la producción de biodiesel, considerando la rapidez de crecimiento de microorganismos y la disponibilidad de suelos y condiciones climáticas en comparación con algunos cultivos agrícolas. Lo anterior podría apoyar a resolver problemas ambientales, sociales y económicos. Con base en lo

anterior, se realizó una recolecta de microorganismos lipolíticos del suelo para su identificación morfológica y molecular, susceptibles de incluir en proyectos futuros relacionados con producción de aceites.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se recolectaron 396 muestras de suelo de once municipios y cuatro localidades de Chiapas, México. Las cepas de hongos encontradas fueron en los municipios de Villaflores, Chiapa de Corzo, Tonalá, Escuintla, Tapachula, y Tuxtla Chico. Se realizaron pruebas preliminares para seleccionar cepas con potencial de producir lipasas, agregando aceite mineral esterilizado al medio de cultivo nutritivo, y se incubó por 16 horas a 30 °C, y poder observar la formación de halo oscuro por medio de luz ultravioleta (Reyes *et al.*, 2014). Los hongos con capacidad lipolítica se aislaron en medio PDA; las colonias desarrolladas se purificaron por el método de puntas de hifas. Para la identificación morfológica se hicieron montajes temporales y permanentes, y mediante microscopio compuesto se observaron estructuras características del género o especie, y con claves taxonómicas y referencias bibliográficas se determinó a nivel de género (Agrios, 2006). Para la identificación molecular, las cepas seleccionadas se transfirieron a medio líquido Papa-Dextrosa, manteniéndose en agitación por 48 h; se recolectó el micelio y se realizó extracción de ADN por el método de Dellaporta (Dellaporta *et al.*, 1983). Se utilizó la técnica de la reacción en cadena polimerasa (PCR), utilizando los iniciadores ITS1/ITS4, el kit de QIAGEN Top Taq Master mix y un termociclador Techne (TC-412). Las condiciones para PCR fueron: tres minutos de desnaturalización inicial a 94 °C, seguido por 30 ciclos de desnaturalización a 94 °C por 30 segundos, alineación a 50 °C por 30 segundos, y

extensión a 72 °C por un minuto, y una etapa de extensión final por 10 minutos (White, 1990). Los fragmentos amplificados se visualizaron mediante gel de agarosa en TAE al 0.8 %, teñidos con GelRed™. El fragmento de ADN amplificado se envió a MacroGen para su secuenciación. Las secuencias obtenidas se compararon con

una búsqueda en la base de datos del banco de genes del NCBI (*National Center for Biotechnology Information*) mediante el algoritmo BLAST (Zheng *et al.*, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hongos identificados pertenecen al género *Penicillium* spp. y *Aspergillus* spp. El primero presentó micelio de color azul pegado a medio de cultivo Papa Dextrosa Agar (PDA), no algodonoso, esporulación abundante, regularmente conidios en estructura ramificada, fialides y conidios globosos u ovoides (Figura 1). *Aspergillus niger* presenta micelio pegado a PDA, de coloración negra, aéreo, esporulación abundante, conidióforos verticales, simples, con terminaciones globosas, fialides y conidios unicelulares (Figura 2). *Aspergillus* spp. presenta micelio pegado a PDA, de coloración verde claro, aéreo y esporulación abundante. Conidióforos verticales, simples, con terminaciones globosas, fialides y conidios unicelulares (Figura 3).

Para la identificación molecular se amplificó la banda esperada (600pb), a partir de la cual se obtuvieron las secuencias y se identificaron las siguientes especies (Cuadro 1).

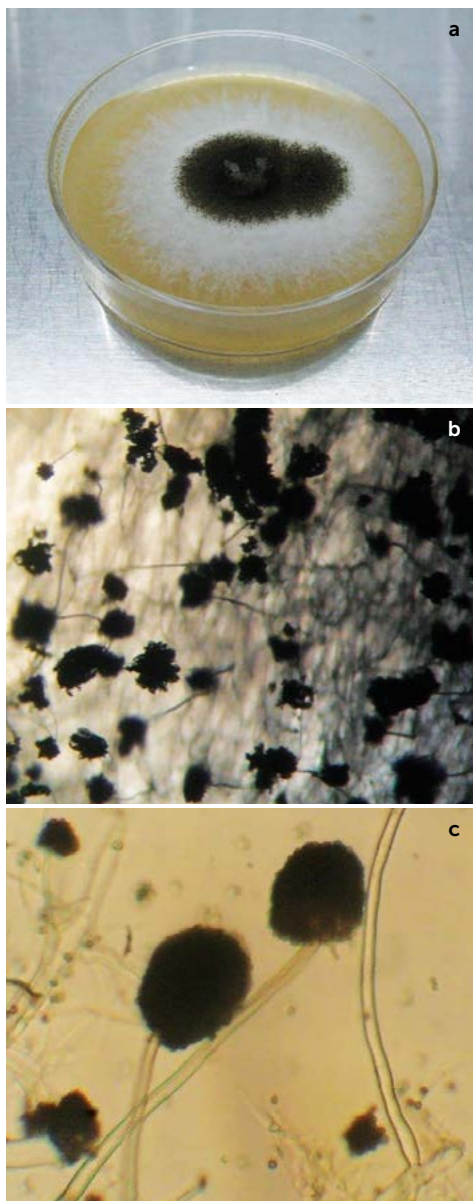


Figura 1. *Aspergillus niger* a: En medio de cultivo PDA, b: Cuerpos fructíferos (4 X), c: Cuerpo fructífero (40X).

CONCLUSIONES

Se identificaron molecularmente los hongos *Aspergillus niger*, *Penicillium griseofulvum*, *Aspergillus oryzae*, *Penicillium janthinellum* y *Penicillium verrucosum*, asociados a producción de lipasas, y se continúa investigando para determinar su capacidad

lipolítica, así como su evaluación bajo diferentes sistemas de fermentación.

AGRADECIMIENTOS

A los fondos fiscales del INIFAP mediante el proyecto "Identificación, selección y caracterización de microorganismos con capacidad lipolítica para producir biodiesel de calidad a partir de aceite de *Jatropha curcas*".

LITERATURA REVISADA

- Agrios G.N. 2006. Plant Pathology. Second Edition. Academic Press. New York, USA. 103 p.
- Álvarez M.H., Blanco M., Fajardo M.A., Sánchez T.P. 2007. Biodiesel a partir de bacterias in XV simposio electrónico internacional. La producción de Biocombustibles con eficiencia, estabilidad y equidad. Chubut, Argentina.
- Certik M., Balteszova L., Sajbidor J. 1997. Lipid formation and linolenic acid production 'by Mucorales fungi grown on sunflower oil. Appl Microbiol Biotechnol 25: 101-105.
- Cochare V.W. 1958. Physiology of fungi. John Wiley and Sons, Inc., New York. 588. p.
- Colla L.M., Rizzardi J., Pinto M.H., Reinehr C.O., Bertolin T.E., Vieira-Costa J.A. 2010. Simultaneous production of lipases and biosurfactants by submerged and solid-state bioprocesses. Bioresour Technol. 101 (21): 8308 - 8314.
- Corxo G., Revah S. 1999. Production and Characteristics of the Lipase from *Yarrowia lipolytica* 681, Biores. Technology. 70: 173-180.
- De Castro H.F., Mendes A.A., Dos Santos J.C., De Aguiar C.L. 2004. Modificação de óleos e gorduras por biotransformação. Química Nova. 27: 1.
- Dellaporta S.L., Wood J., Hicks J.B. 1983. A plant DNA miniprep preparation version II. Plant Molecular Biology Reporter 1:19-21.
- Domínguez A., Costas M., Longo M., Longo M.A. 2003. Sanromán A. A novel application of solid state culture: production of lipases by *Yarrowia lipolytica*. Biotech. Letters. 25:1225-1229.
- Fukuda H., Kondo A., Noda H. 2001. Biodiesel Fuel Production by Transesterification of oils. Journal of Bioscience and Bioengineering. 92 (5): 405-416.
- Gandhi N.N. 1997. Applications of Lipase. JAOCS, Journal of the American Oil Chemists' Society. 74 (6): 621-634.
- Goodrum J., Eiteman M. 1996. Physical properties of low molecular weight triglycerides for the development of Bio-diesel fuel models. Bioresource Technology. 56: 55-60.
- Hannson L., Dostalek M., Srenby B. 1989. Fungus *Mucor rouxii* in fed-batch and continuous culture. Appl Microbiol Biotechnol 31: 223-227.

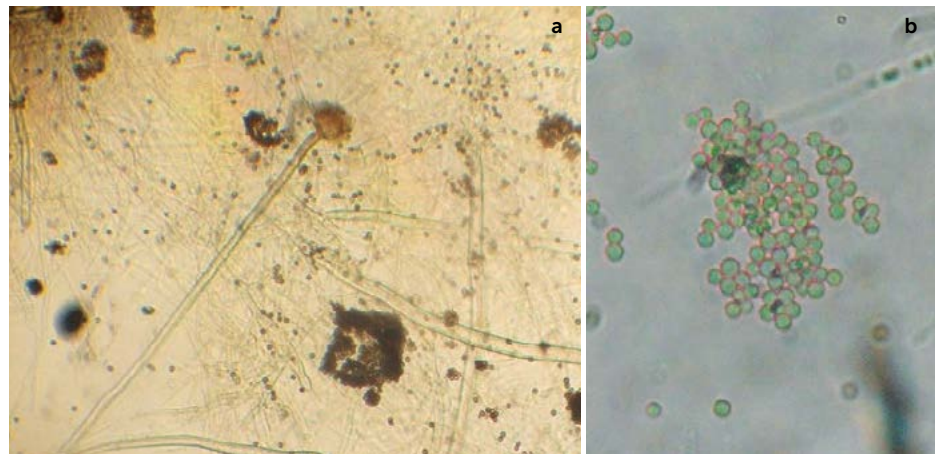


Figura 2. *Aspergillus oryzae*. a: Conidioforo y terminación globosa (10 x), b: Esporas o conidios.

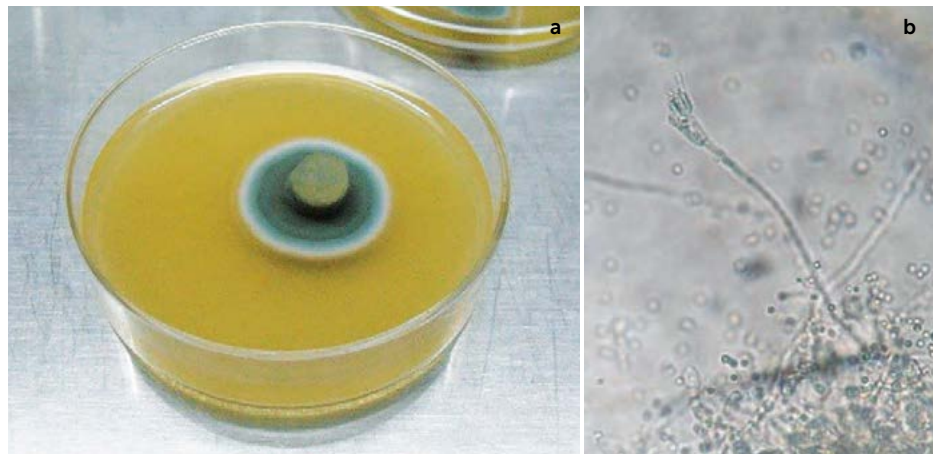


Figura 3. *Penicillium* spp. a: Medio de cultivo V8, b: Cuerpo fructífero (40X).

Cuadro 1. Identificación molecular de hongos con capacidad lipolítica.

Cepa	Especie identificada	Identidad (%)
1	<i>Aspergillus niger</i>	100
2	<i>Penicillium griseofulvum</i>	99
5	<i>Aspergillus oryzae</i>	99
10	<i>Penicillium janthinellum</i>	99
11	<i>Penicillium verrucosum</i>	99

- Hiruta O., Yamamura K., Takebe H., Futamura T., Linuma K., Tanaka H. 1997. Application of Maxblend fermenter for microbial processes. J. Ferment Bioeng 83:79-86.
- Jaeger K.E., Ransak S., Koch H.B., Ferrato F., Dijkstra B.W. 1994. Bacterial lipases. FEMS Microbiol.Rev. 15: 29-63.
- Jaeger K.E., Dijkstra B.W., Reetz M.T. 1999. Bacterial biocatalysts: molecular biology, three-dimensional structures, and biotechnological applications of lipases. Annu. Rev. Microbiol. 53: 315-351.
- Lie E., Molin G. 1991. Em Bioconversión de waste materials to industrial products. Elsevier Applied Science. New York. p.401.



- Martínez V.B.B., Zamarripa C.A., Solís B.J.L. 2011a. Caracterización química del aceite de semillas de piñón mexicano (*Jatropha curcas* L.) En: VI reunión nacional de investigación agrícola. León, Guanajuato, México. p. 225.
- Martínez V.B.B., Solís B.J.L., Zamarripa C.A. 2011b. Calidad agroindustrial de insumos bioenergéticos para la producción de biodiesel en México. *Agroproductividad*. 4: 8-14
- Pandey A., Benjamin S., Soccol C.R., Nigam P., Krieger N., Soccol V.T. 1999. The realm of microbial lipases in Biotechnology. *Biotechnol Appl. Biochem*. Vol.29, p.119-131.
- Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018. Gobierno de la República Mexicana. 184 p.
- Ratledge C., Wynn J.P. 2002. The biochemistry and molecular biology of lipid accumulation in oleaginous microorganisms. *Adv Appl Microbiol*, 51:1-51.
- Ratledge C., Wilkinson S.G. 1989. *Microbial Lipids*, Academic Press, London, UK, pp. 555-697.
- Reyes R.A.L., Iracheta D.L., Martínez B.M. 2014. Microorganismos con capacidad lipolítica: una alternativa más eficiente para la producción de biodiesel. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Desplegable informativo Núm. 20.
- Shah S., Sharma S., Gupta M. 2004. Biodiesel preparation by lipase-catalyzed transesterification of *Jatropha* oil. *Energy & Fuels*. 18: 154-159
- Seraphim P., Michael K., George A. 2004. Single cell oil (SCO) production by *Mortierella isabellina* grown on high sugar content media. *Bioresour Technol* 95: 287-291.
- Schmid R.D., Verger R. 1998. Lipases: Interfacial enzymes with attractive applications. *Angew. Chem. Int. Ed.* 37:1608-1633.
- Trigano R.N., Fergus C.L. 1979. Extracellular enzymes of some fungi associated with mushroom culture. *Mycologia*, 71:908-917.
- White T.J., Bruns S.L., Taylor J.W. 1990. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. En M.A. Innis, D.H. Gelfand, J.J. Sninsky T.J. White (Eds.) *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications* (pp. 315-322). New York, NY. Academic Press, Inc.
- Zago E., Botton V., Alberton D., Córdova J., Yamamoto C.I., Côcco L.C., Mitchell D. A., Krieger N. 2014. Synthesis of ethylic esters for biodiesel purposes using lipases naturally immobilized in a fermented solid produced using *Rhizopus* microspores. *Energy Fuels*. 28 (8): 5197-5203
- Zheng Z., Schwartz S., Wagner L., Miller W. 2000. A greedy algorithm for aligning DNA sequences. *J Comput Biol* 7:203-14.
- Rapp P., Backhaus S. 1992. Formation of extracellular lipases by filamentous fungi, yeasts, and bacteria. *Enzyme Microb. Technol.* 14: 938-943.

EFECTO DEL ALMACENAMIENTO EN LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DE *Sesamum indicum* L., TRATADO TÉRMICAMENTE EN HORNO CONVENCIONAL Y MICROONDAS

EFFECT OF STORAGE ON THE ANTIOXIDANT ACTIVITY OF *Sesamum indicum* L.,
TREATED THERMALLY IN CONVENTIONAL AND MICROWAVE OVEN

Díaz-Ramírez, M.¹; Hernández-Unzón, H.Y.²; Salgado-Cruz, Ma. de la P.²; Cruz-Monterrosa, R.G.¹;
Jiménez-Guzmán, J.¹; Miranda-de la Lama, G.C.¹; Rayas-Amor, A.A.¹

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México. ²Departamento de Ingeniería Bioquímica. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Instituto Politécnico Nacional. Plan de Ayala y Carpio s/n. Col. Santo Tomás. C.P. 11340. México, D.F.

Autor de correspondencia: marea131079@gmail.com

RESUMEN

La semilla y aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) han mostrado actividad antioxidante (AA) que se modifica por efecto de su procesamiento y almacenado, no obstante los estudios al respecto siguen siendo escasos. El objetivo de este trabajo fue evaluar y comparar el efecto de diferentes tratamientos térmicos (horno convencional-HC y microondas-MO) y el tiempo de almacenamiento (seis meses) sobre la AA de semilla de ajonjolí y su aceite. Los resultados mostraron que la mayor AA se presentó en semilla y aceite tratados en HC a 175 °C durante 2.5 minutos (77.2 y 77.2 respectivamente). Durante el almacenamiento, la AA disminuyó en todos los casos, registrando la mayor pérdida en la semilla y aceite sin tratamiento (18.6 y 18.9 unidades respectivamente), seguida de los tratados en HC a 175 °C (8.1 y 7.8 unidades respectivamente) y de los sometidos a tratamiento en MO durante 2.5 minutos (3.4 y 5.3 unidades). Los dos tratamientos térmicos aplicados favorecen la estabilidad de la AA durante seis meses de almacenamiento de la semilla y aceite de ajonjolí.

Palabras clave: ajonjolí, tratamiento térmico, actividad antioxidante, almacenamiento.

ABSTRACT

Sesame seed and oil (*Sesamum indicum* L.) have shown antioxidant activity (AA) that is modified because of their processing and storage, although studies in this regard continue to be scarce. The objective of this study was to evaluate and compare the effect of different thermal treatments (conventional oven-HC and microwave oven-MO) and the time of storage (six months) on the AA of the sesame seed and its oil. The results showed that the highest AA was present in seed and oil treated in HC at 175 °C for 2.5 minutes (77.2 and 77.2, respectively). During storage, the AA decreased in every case, showing the greatest loss in the seed and oil without treatment (18.6 and 18.9 units respectively), followed by treatments in HC at 175 °C (8.1 and 7.8 units respectively), and those subject to treatment in MO for 2.5 minutes (3.4 and 5.3 units). The two thermal treatments applied favor the stability of the AA during six months of storage of the sesame seed and oil.

Keywords: sesame, thermal treatment, antioxidant activity, storage.

INTRODUCCIÓN

El consumo de antioxidantes desempeña una función de prevención y/o reducción del riesgo de presentar algunas enfermedades crónicas no transmisibles (cáncer, diabetes, entre otras) asociadas a la acción de radicales libres (Chávez *et al.*, 2013). La semilla y aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) (Figura 1), son fuente importante de estas sustancias (sesamin, sesamol, sesamol, sesaminol, sesamol, γ -tocopherol, entre otros), cuyo contenido, estructura y actividad se modifica por efecto de su procesamiento y depende de factores, tales como el tipo, duración y temperatura del tratamiento, así como del efecto sinérgico con otros compuestos derivados de dichos procesos (Wan *et al.*, 2014). Su presencia también promueve la estabilidad del aceite de ajonjolí a la oxidación durante su almacenamiento (Abou-Gharibia *et al.*, 2000), siendo esta una ventaja tecnológica muy importante

que ha permitido el uso de éste en mezclas con otros aceites vegetales susceptibles a dicha oxidación (Kavuncuoglu *et al.*, 2016). En México, la semilla de ajonjolí se usa en panadería, en la preparación de dulces y galletas, confitería y en la elaboración de platillos tradicionales, tales como el mole, atole y pastas, donde los tratamientos térmicos aplicados pueden modificar la AA de este importante ingrediente. Aunque el aceite de ajonjolí tiene varias ven-

tajas nutrimentales y tecnológicas sigue siendo poco usado en México, no obstante la difusión y conocimiento de sus propiedades puede incrementar su uso. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes tratamientos térmicos y almacenamiento sobre la actividad antioxidante de la semilla y aceite de ajonjolí.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizó semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) a granel, Lote JAB/015 de 25 kg, proveniente de Veracruz, México. Todos los reactivos utilizados fueron de grado analítico.

Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteína, grasa (AOAC 14.062, 14.063, 14.067 y 14.066 respectivamente) fibra (AACC 32-05) y el porcentaje de carbohidratos por diferencia a la semilla de ajonjolí. En el caso del aceite se evaluaron la masa específica, índice de refracción, de yodo, de saponificación,

de acidez y de peróxidos (AOAC 28.003, 28.006, 28.018, 28.025, 28.029 y 28.022). Los tratamientos térmicos de la semilla de ajonjolí fueron; horno convencional (HC). Se colocaron y distribuyeron homogéneamente 100 g de semilla de ajonjolí en charola de acero rectangular (37.5 cm x 24.5 cm y 0.2 cm de grosor) a diferentes temperaturas (150 °C, 175 °C y 200 °C) y tiempos (0, 2.5 y 5 min) de calentamiento. La charola se colocó a 20 cm de

la fuente de calor y al centro del horno. Se aplicó también el horno de microondas (MO), colocando y distribuyendo homogéneamente 100 g de semilla en un recipiente de vidrio durante 0, 2.5 y 5 min (Villa, 2005).

La extracción del aceite se llevó a cabo por el método de Soxhlet utilizando hexano como disolvente. 15 g de semilla molida se colocaron en cartucho de celulosa y se agregaron 150 ml de hexano. La extracción se llevó a cabo durante cuatro horas y posteriormente el aceite se filtró (Whatman No. 5). El aceite se utilizó hasta que no hubo variación del peso indicando que no había residuos de solvente.

Para la preparación del extracto, se usó 1 g de semilla de ajonjolí molida o 1 mL de aceite, y se mezclaron con 25 mL de una solución de metanol al 80%, el extracto se calentó en baño maría a 70 ± 1 °C durante dos horas con agitación constante. Al término se enfrió a 25 ± 1 °C, se filtró (Whatman No. 5) e inmediatamente se determinó su AA.

Para evaluar el almacenamiento de la semilla y aceite de ajonjolí, se seleccionaron la semilla y aceite con mayor AA y se almacenaron durante seis meses. La evaluación de AA se realizó en diferentes tiempos (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, y 24 semanas). La semilla se almacenó en frascos de plástico (300 g) individuales cerrados a temperatura de 25 ± 1 °C en ambiente seco, libre de olores y protegidos de la luz, simulando la presentación que existe en el mercado para la elaboración de diferentes alimentos (mole, pan, dulces, entre otros). El aceite se colocó en frascos de vidrio ámbar (200 ml) cerrados en lugar fresco,



Figura 1. Semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.)

seco, libre de olores y protegidos de la luz a temperatura de 25 ± 1 °C. Para la determinación de la AA, se utilizó el método de Velioglu *et al.* (1998) bajo las siguientes condiciones: se colocaron 0.02 mL de ácido linoléico, 0.1 mL de tween 40, 1 mL de β -caroteno (solución de 0.2 mg mL⁻¹ de cloroformo), 0.2 mL del extracto de semilla o de aceite, o BHT (300 mg L⁻¹ de cloroformo) según sea el caso. Se evaporó todo el cloroformo y posteriormente se agregaron 30 mL de peróxido de hidrógeno al 5%, se homogeneizó durante un minuto y se sometió a autooxidación térmica a 50 ± 1 °C; se realizaron lecturas de absorbancia a una longitud de onda de 470 nm cada diez minutos durante dos horas. Para el blanco y control se realiza el mismo procedimiento sin agregar el β -caroteno (solución de 0.2 mg mL⁻¹) y antioxidante respectivamente, la cual se calculó en cuatro formas (Velioglu *et al.*, 1998):

a) La absorbancia se grafica con el tiempo, la pendiente de esta cinética se expresa como Valor Antioxidante (AOX o R) (Ecuación 1).

$$AOX = \frac{A_2 - A_0}{t_2 - t_0} = R \quad \text{Ec. 1}$$

b) La actividad antioxidante (AA) se calcula como el porcentaje de inhibición con respecto al control de acuerdo a la Ecuación 2

$$AA = \left(\frac{R_{control} - R_{muestra}}{R_{control}} \right) \times 100 \quad \text{Ec. 2}$$

Donde $R_{control}$ y $R_{muestra}$ son las velocidades de blanqueo del β -caroteno en la mezcla sin antioxidante y la de prueba respectivamente.

c) La proporción de velocidad de oxidación (ORR), cual se calcula de acuerdo a la Ecuación 3.

$$ORR = \frac{R_{muestra}}{R_{control}} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde $R_{control}$ y $R_{muestra}$ tienen el mismo significado que la ecuación anterior

d) El coeficiente de actividad antioxidante que se calcula mediante la ecuación 4

$$AAC = \frac{A_1 - A_2}{A_3 - A_2} \times 1000 \quad \text{Ec. 4}$$

En donde A_1 es la absorbancia de la mezcla antioxidante a los 120 minutos, A_2 es la absorbancia del control a los 120 minutos y A_3 es la absorbancia del control a los 0 minutos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La composición de la semilla fue de $47.6 \pm 0.3\%$ de grasa, $22.8 \pm 0.1\%$ de proteína, $5.0 \pm 0.3\%$ de cenizas, 8.8 ± 0.3 de fibra cruda ($5.6 \pm 0.4\%$ corresponden a la fracción insoluble y $3.2 \pm 0.2\%$ a la soluble), $11.5 \pm 0.3\%$ de carbohidratos y $4.3 \pm 0.2\%$ de humedad. Estos valores pueden variar de acuerdo a su lugar de origen, pero son semejantes a lo reportado en la literatura (Gharby *et al.*, 2015) para semillas de ajonjolí. En el caso del aceite (Cuadro 1), se observa que los parámetros son aceptables ya que se encuentran dentro del intervalo establecido en el *Codex Alimentarius*, 1981. Debido al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados y monoinsaturados, los valores de índice de acidez y de peróxidos indican el grado de deterioro o rancidez del aceite, los resultados muestran que el método de extracción no interfirió en la calidad del mismo.

El Índice de acidez y de peróxidos de aceites extraídos de la semilla de ajonjolí tratada térmicamente, con (HC, MO) y sin tratamiento (ASST) (Cuadro 2), mostro que los aceites extraídos cumplen con los límites establecidos y son adecuados para su consumo. En cuanto al tratamiento en HC, se observó que los índices aumentaron ligeramente con respecto a la temperatura y tiempo de exposición sin rebasar el límite establecido, esto concuerda con los estudios realizados por Yoshida y Takagi (1997) y Abou-Gharbia *et al.* (1997) quienes reportaron que el tostado incrementa ligeramente el contenido de peróxidos respecto a la semilla sin tratamiento. Por otro lado se observa que el tratamiento en MO durante 2.5 minutos no incrementó significativamente el valor

Cuadro 1. Características del aceite de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.).

Parámetro	Referencia*	Muestra
Gravedad específica (20 °C)	0.915-0.923	0.912±0.004
Índice de refracción (20 °C)	1.465-1.469	1.468±0.003
Índice de saponificación (mg de KOH/ g de aceite)	187-195	184±0.9
Índice de Yodo	104-120	104±0.7
Índice de Acidez	4 mg de KOH g ⁻¹ de aceite máx.	2±0.1 mg de KOH g ⁻¹ de aceite máx
Índice de Peróxidos	10 meq kg ⁻¹ de aceite máx.	5±0.5 meq kg ⁻¹ de aceite máx.

*Codex Alimentarius, 1981

de ambos índices, sin embargo durante 5 min, aumentaron ambos parámetros, ya que su temperatura fue mayor (122.5±2.0 °C y 163.7±3.6 °C, 2.5 y 5 minutos respectivamente) así que se muestra la misma tendencia que el aceite de semilla tratada en HC, es mejor el calentamiento en MO por tiempos cortos.

Los resultados de AA de la semilla y aceite de ajonjolí con y sin tratamiento se muestran en los Cuadros 3 y 4, donde se observa que los controles tuvieron un valor de AA de 0 que indica la mayor oxidación y, también que ninguno de los tratamientos realizados igualó el poder antioxidante del BHT (AA-90.3%). Las semillas tratadas en HC a 175 °C y MO, ambas durante 2.5 minutos (Cuadro 3), fueron las de mayor AA. Existen estudios sobre la formación de sustancias con AA durante el tratamiento térmico de la semilla como el sesamol (Lee *et al.*, 2010), compuestos fenólicos de bajo peso molecular (Jeong *et al.*, 2004) y pigmentos productos de la reacción de Maillard (Yoo *et al.*, 2004) que explican un valor mayor de AA; no obstante la interacción y el efecto sinérgico o antagónico que pueda existir entre estos metabolitos, aún no ha sido estudiado (Wang *et al.*, 2014), sin embargo, esto último podría explicar

que a mayor temperatura (200 °C) y tiempo de exposición (5 min) la AA disminuye, a pesar de ello, los resultados indican hasta 175 °C en tiempos cortos se promueve mayor AA que la semilla sin tratar.

En cuanto al aceite, el Cuadro 4 muestra la misma tendencia que en la semilla, ya que los valores mayores de AA se registraron en el tratamiento en HC a 175 °C y MO, ambos durante 2.5 min. De acuerdo a Suja *et al.* (2004) los responsables de la estabilidad oxidativa del aceite de ajonjolí son el sesamol y sesaminol, y éste último es altamente estable al calor (Ramarathnam *et al.*,

1995), además de la formación de compuestos fenólicos y los productos de la reacción de Maillard.

Las semillas y aceites con tratamiento que mostraron mayor AA se almacenaron durante seis meses; y en cuanto a la semilla, los resultados (Figura 2) muestran que a mayor tiempo de almacenamiento la AA disminuye en todos los casos, registrando mayor valor (18.6 unidades de AA) en la SST, seguida de la tratada en HC a 175 °C durante 2.5 min (8.1) y de la calentada en MO durante 2.5 min (3.4). Al parecer la presencia, liberación y formación de compuestos antioxidantes durante el calentamiento protege de la oxidación a las muestras de aceite. Ambos tratamientos térmicos tienen un efecto positivo en la estabilidad de la AA de la semilla de ajonjolí, y por lo tanto son buena alternativa para mejorar sus propiedades, sin embargo el tratamiento en HC tiene mejores características sensoriales y es mayor el valor inicial de AA.

La AA de los aceites almacenados (Figura 3) disminuyó en todos los

Cuadro 2. Características del aceite de semilla de *Sesamum indicum* L. tratadas térmicamente.

Tratamiento	Índice de acidez (mg KOH g ⁻¹ aceite)	Índice de peróxidos (meq kg ⁻¹ aceite)
AST °C/minutos)	2.0±0.1 ^a	5.0±0.5 ^b
Tratamiento en horno convencional (HC)		
150/2.5	2.2±0.2 ^{ab}	6.1±0.2 ^c
150/5	3.3±0.5 ^d	8.5±0.3 ^e
175/2.5	2.5±0.2 ^{bc}	3.0±0.1 ^a
175/ 5	3.8±0.1 ^d	9.0±0.3 ^e
200/ 2.5	2.9±0.3 ^c	7.0±0.2 ^d
200/ 5	4.0±0.2 ^d	8.6±0.3 ^e
Tratamiento en horno de microondas (MO)		
2.5 min	2.3±0.5 ^{ab}	5.5±0.5 ^{bc}
5 min	3.9±0.1 ^d	10.3±0.1 ^f
Codex Alimentarius, 1981	4.0 máx	10 máx

AST: Aceite semilla sin tratamiento

Cuadro 3. Actividad Antioxidante de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) tratada térmicamente.

Tratamiento	Valor Antioxidante (AOX) (1/h)	Actividad Antioxidante (AA)	Velocidad de oxidación (ORR)	Coefficiente de actividad antioxidante (AAC)
BHT	-0.035±0.004	90.6±1.2	0.095±0.014	906.8±10.1
Control	-0.372±0.003	0.0	1.0	0.0
SST	-0.194±0.002	47.9±0.5	0.521±0.005	478.0±8.2
Tratamiento en horno convencional (°C/minutos)				
150/2.5	-0.142±0.003	61.7±0.7	0.383±0.007	617.8±4.1
150/5	-0.190±0.003	48.9±0.7	0.510±0.006	483.4±5.6
175/2.5	-0.085±0.004	77.2±1.1	0.228±0.011	774.6±30.3
175/5	-0.147±0.001	60.6±0.3	0.394±0.003	598.6±8.1
200/2.5	-0.186±0.002	50.1±0.5	0.499±0.005	507.2±6.8
200/5	-0.311±0.008	16.4±2.2	0.836±0.022	157.3±15.6
Tratamiento en horno de microondas				
2.5 min	-0.135±0.002	63.7±0.6	0.363±0.006	647.2±2.1
5 min	-0.318±0.002	14.5±0.6	0.855±0.006	155.5±7.4

SST: Semilla sin tratamiento.

casos, registrando la mayor pérdida en los aceites extraídos de la SST, seguida de la que se trató en HC y por último de aquella calentada en MO. De acuerdo a Kim (2000) la estabilidad del aceite de semilla sin tostar es baja, no así con el aceite que proviene de semillas tratadas térmicamente, tal como se observa en este estudio. Yoshida y Tagaki (1997) citaron que la presencia de sesamol se incrementa conforme la temperatura aumenta, mientras que Jeong *et al.* (2004) señalaron que el tostado de semilla de ajonjolí entre 160 °C y 200 °C incrementa la estabilidad del aceite por la liberación de compuestos antioxidantes. Ambos tratamientos térmicos tienen un efecto positivo ya que la pérdida de AA es menor en comparación con el aceite de semilla sin tratar.

La calidad del aceite almacenado se evaluó mediante el índice de acidez y peróxidos, la Figura 4 y 5 muestran que éstos se incrementan con respecto al tiempo de almacenamiento para todas las muestras. El aceite de la SST tiene mayor incre-

mento debido probablemente a la nula inactivación de enzimas que producen cambios, tales como lipasas y lipoxigenasas y a menor presencia de sustancias antioxidantes. En cuanto al aceite de semilla tratada en HC y MO durante 2.5 min, el incremento fue menor debido a la formación e interacción de compuestos antioxidantes dada por la aplicación del tratamiento térmico. Los valores obtenidos en este trabajo son menores a los reportados por Abou-Gharbia *et al.* (2000), quienes almacenaron aceite de ajonjolí durante 35

CONCLUSIONES

El tratamiento térmico en horno convencional (150 °C

Cuadro 4. Actividad Antioxidante de aceite de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) tratada térmicamente.

Tratamiento	Valor Antioxidante (AOX) (1/h)	Actividad Antioxidante (AA)	Velocidad de oxidación (ORR)	Coefficiente de actividad antioxidante (AAC)
BHT	-0.035±0.004	90.6±1.2	0.095±0.014	906.8±10.1
Control	-0.372±0.003	0.0	1.0	0.0
AST	-0.195±0.003	47.6±0.9	0.524±0.009	469.5±9.9
Tratamiento en horno convencional (°C/minutos)				
150/ 2.5	-0.146±0.004	60.8±1.1	0.392±0.011	599.9±16.4
150/ 5	-0.142±0.007	61.7±1.8	0.383±0.019	611.6±18.8
175/ 2.5	-0.085±0.001	77.2±0.4	0.228±0.004	774.6±3.9
175/ 5	-0.147±0.001	60.6±0.3	0.394±0.003	598.6±8.1
200/ 2.5	-0.270±0.002	27.5±0.6	0.725±0.006	289.0±3.6
200/ 5	-0.307±0.007	17.4±1.9	0.826±0.019	166.2±21.6
Tratamiento en horno de microondas				
2.5 min	-0.109±0.001	70.8±0.4	0.292±0.004	723.1±2.7
5 min	-0.230±0.002	38.1±0.4	0.619±0.004	388.4±1.3

AST: Aceite de semilla sin tratamiento.

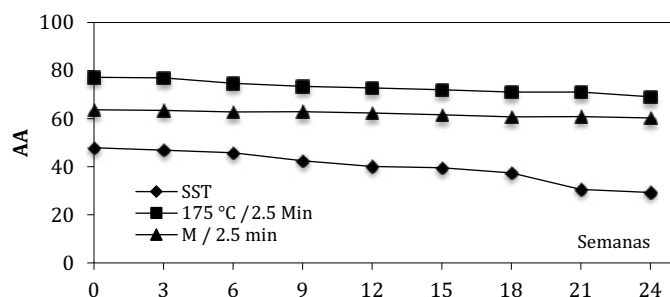


Figura 2. Actividad antioxidante de semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) sin y con tratamiento térmico durante su almacenamiento.

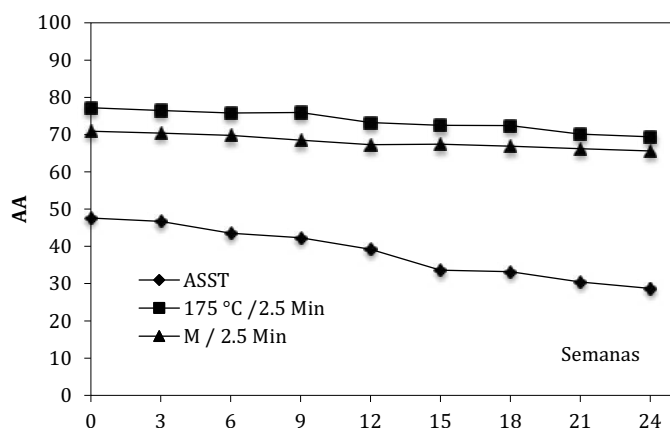


Figura 3. Actividad antioxidante de aceite de semilla de *Sesamum indicum* L. sin y con tratamiento térmico durante su almacenamiento.

y 175 °C) y microondas en tiempos cortos (2.5 min) mejora la AA de la semilla y aceite de ajonjolí, así como su estabilidad durante seis meses de almacenamiento a temperatura ambiente. La generación de sustancias antioxidantes durante el tratamiento térmico y su interacción explican en parte este comportamiento sin embargo estudios sobre el efecto antagónico o sinérgico de estas sustancias debe realizarse.

LITERATURA CITADA

- Abou-Gharbia H.A., Shehata A.A.Y., Shahidi F. 2000. Effect of processing on oxidative stability and lipid classes of sesame oil. *Food Research International* 33(5): 331-340.
- Abou-Gharbia H.A., Shahidi F., Adel A., Shehata Y., Youssef M.M. 1997. Effects of processing on oxidative stability of sesame oil extracted from intact and dehulled seeds. *Journal of the American Oil Chemists' Society* 74(3): 215-221.
- Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis AOAC. 1984. Vol. 1. Ed. Sidney Williams. USA. p 437, 259, 249, 159, 160.
- American Association of Cereal Chemists. 1983. Approved Methods of the Association of Cereal Chemists. Vol I. Edit. Paul Minn. USA. p. 10-10 B.
- Codex Alimentarius. Grasas, Aceites y Productos derivados. FAO-OMS.

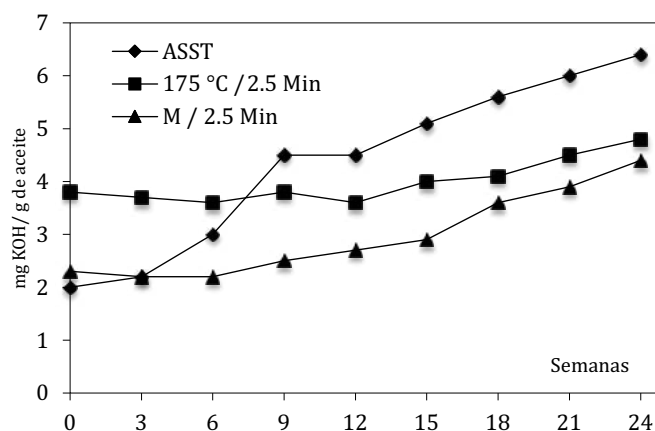


Figura 4. Índice de acidez de aceites extraídos de semillas de *Sesamum indicum* L., tratadas térmicamente.

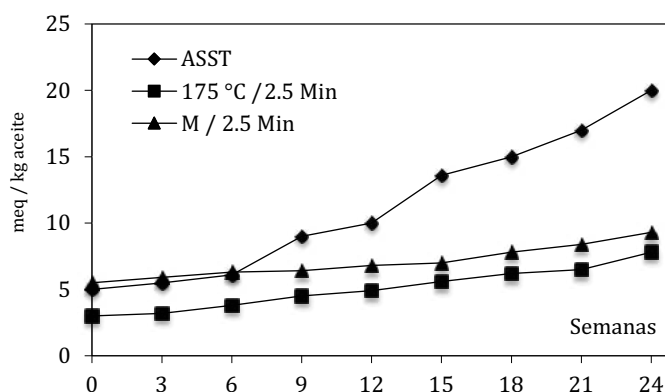


Figura 5. Índice de peróxidos de aceites extraídos de semillas de *Sesamum indicum* L. tratadas térmicamente.

Norma del Codex para el aceite de sesámo comestible. Stan 26-1981.

- Chávez R., Plaza A., de Ugaz O.L. 2013. Antioxidantes de origen vegetal. *Revista de Química* 10(1): 71-101.
- Gharby S., Harhar H., Bouzoubaa Z., Asdadi A., El Yadini A., Charrouf Z. 2017. Chemical characterization and oxidative stability of seeds and oil of sesame grown in Morocco. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 16(2): 105-111.
- Jeong S.M., Kim S.Y., Kim D.R., Nam K.C., Ahn D.U., Lee S.C. 2004. Effect of seed roasting conditions on the antioxidant activity of defatted sesame meal extracts. *Journal of Food Science*, 69(5).
- Kavuncuoglu H., Capar T.D., Karaman S., Yalcin H. 2017. Oxidative stability of extra virgin olive oil blended with sesame seed oil during storage: an optimization study based on combined design methodology. *Journal of Food Measurement and Characterization* 11(1): 173-183.
- Kim H.W. 2000. Studies on the antioxidative compounds of sesame oils with roasting temperature. *Korean Journal of Food Science and Technology* 32(2): 246-251.
- Lee S.W., Jeung M.K., Park M.H., Lee S.Y., Lee J. 2010. Effects of roasting conditions of sesame seeds on the oxidative stability of pressed oil during thermal oxidation. *Food Chemistry* 118(3): 681-685.

- Ramarathnam N., Osawa T., Ochi H., Kawakishi S. 1995. The contribution of plant food antioxidants to human health. Trends in Food Science & Technology 6(3): 75-82.
- Suja K.P., Jayalekshmy A., Arumughan C. 2004. Free radical scavenging behavior of antioxidant compounds of sesame (*Sesamum indicum* L.) in DPPH• system. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52(4): 912-915.
- Velioglu Y.S., Mazza G., Gao L., Oomah B.D. 1998. Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products. Journal of Agricultural and Food Chemistry 46(10): 4113-4117.
- Villa M. 2005. Determinación de actividad antioxidante en la semilla de ajonjolí (*Sesamum indicum*). Tesis Ingeniero Bioquímico. ENCB. IPN.
- Wan Y., Li H., Fu G., Chen X., Chen F., Xie M. 2015. The relationship of antioxidant components and antioxidant activity of sesame seed oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 95(13): 2571-2578.
- Yoo M.A., Kim H.W., Kim K.H., Kang M.H. 2004. Antioxidant effect of brown substances separated from defatted roasted sesame dregs. Food Science and Biotechnology 13(3): 274-278.
- Yoshida H., Takagi S. 1997. Effects of seed roasting temperature and time on the quality characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 75(1): 19-26.



ANÁLISIS PRODUCTIVO Y ECONÓMICO DE UNIDADES DE PRODUCCIÓN DE GANADO BOVINO PARA CARNE EN TLATLAYA, ESTADO DE MÉXICO

PRODUCTIVE AND ECONOMIC ANALYSIS OF PRODUCTION UNITS OF BOVINE CATTLE FOR BEEF IN TLATLAYA, ESTADO DE MEXICO

García-Martínez, A.¹; López-Gama, R.¹; Morales-Almaraz, E.²; Martínez-García, C.G.⁴; Albarrán-Portillo, B.¹; Rayas-Amor, A.A.^{3*}

¹Centro Universitario Temascaltepec. Universidad Autónoma del Estado de México, Temascaltepec, Estado de México, México. ²Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma del Estado de México. El Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México. ³Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Lerma de Villada, Estado de México, México. ⁴Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales. Universidad Autónoma del Estado de México, El Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México.

***Autor de correspondencia:** a.rayas@correo.ler.uam.mx

RESUMEN

La ganadería doble propósito es una actividad económica importante en zonas rurales por el ingreso que genera de la venta de leche y carne. El objetivo del trabajo fue realizar un análisis socio-económico de unidades de producción (UP) doble propósito (DP), orientadas a la producción de becerros para abasto. La información se obtuvo de 21 UP DP del Municipio de Tlatlaya, Estado de México, seleccionadas mediante muestreo aleatorio, durante 2015. El análisis económico se realizó a través de la metodología de presupuestos por actividad, considerando los ingresos en efectivo por venta de productos agrícolas, ganaderos, y precios y costos de oportunidad. Se observó que son UP con más de 50 años en la actividad, la principal fuente trabajo es la mano de obra familiar y el tamaño de hato es reducido. Más de 70 % de los ingresos provienen de la ganadería, principalmente de la venta de becerros para abasto. El ingreso se completa con la venta de maíz (*Zea mays* L.). El ingreso total unitario obtenido fue de \$1,687.00 MXN por hectárea y \$5,104 MXN por vaca. Sin embargo, el margen neto (MN) fue de solo \$26,900 MXN. Se concluyó que la ganadería es una actividad económica importante en la zona de estudio. Las UP dedicadas a la producción de becerros para abasto perciben bajos ingresos y presentan un limitado margen de ganancia.

Palabras clave: bovinos, doble propósito, trópico seco, económica, sur del Estado de México.

ABSTRACT

Double-purpose livestock production is an important economic activity in rural zones for the income it generates from the sale of milk and meat. The objective of the study was to perform a socioeconomic analysis of double-purpose (DP) production units (PUs), directed towards the production of calves for supply. The information was obtained from 21 DP PUs in the municipality of Tlatlaya, Estado de México, selected through random sampling during 2015. The economic analysis

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre, 2017, pp: 22-28.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

was carried out through the methodology of budget per activity, considering the income in cash from the sale of agricultural, livestock products, and the prices and costs of opportunity. It was observed that they are PUs with more than 50 years in the activity, the main source of work is family labor, and the size of the herd is reduced. More than 70 % of the income comes from livestock production, primarily the sale of calves for supply. The income is complemented with the sale of maize (*Zea mays* L.). The total unitary income obtained was \$1,687.00 MXN per hectare and \$5,104 MXN per cow. However, the net margin (NM) was only \$26,900 MNX. It is concluded that livestock production is an important economic activity in the study zone. The PUs devoted to calf production for supply obtained low income and present a limited margin of profit.

Keywords: bovines, double purpose, dry tropics, economic, southern Estado de Mexico.

INTRODUCCIÓN

La ganadería en México es la actividad económica de mayor importancia en zonas rurales (Rojo-Rubio *et al.*, 2011). Se desarrolla en diversas condiciones agroecológicas que dan origen a varios sistemas de producción (Chalate-Molina *et al.*, 2010) (Abshoff, 1983 #662). El sistema especializado en el norte, el semiespecializado y familiar en el altiplano central y el doble propósito en los trópicos seco y húmedo (SIAP-SAGARPA, 2013) presentan características diferenciadas en el aprovechamiento de la tierra, nivel tecnológico, orientación zootécnica, razas de ganado y comercialización de productos (Rojo-Rubio *et al.*, 2013; Tinoco-Magaña *et al.*, 2012). De las 55,446,717.8 ha en trópico seco y húmedo (28.3% de total nacional), en 37% se pastorea y 40 % del inventario nacional (23,316,942 bovinos) que producen 28 % y 39 % de la leche y carne que se consume en México (INEGI, 2013). SIAP-SAGARPA (2013) indicó que 60 % son bovinos doble propósito de razas *Bos indicus* (Brahman, Nelore, Guzerat, Gyr) o cruzado con *Bos taurus*, como Holstein y Pardo Suizo para producción de leche; Charolais y Simmental, para producir becerros (Aranda-Avila *et al.*, 2010; Pech *et al.*, 2002). En el trópico, la actividad se asocia con bajos costos de producción por uso eficiente de los recursos disponibles (pastizales, arbustos y árboles) (Absalón-Me-

dina *et al.*, 2012a) y utilización de mano de obra familiar para el manejo del ganado (Posadas-Domínguez *et al.*, 2014) y baja producción de leche y carne por la producción estacional de forraje (Aguilar-Pérez *et al.*, 2011, Pech *et al.*, 2002). En el Altiplano Central, con estas características de producción, la ganadería se desarrolla en condiciones topográficas difíciles, por presencia de cadenas montañosas, temperaturas extremas y escasez de agua (SIAP-SAGARPA, 2013). Una ventaja de la ganadería es la importante producción de carne (Rojo-Rubio *et al.*, 2013) y los ingresos generados para las familias (Absalón-Medina *et al.*, 2012b). Estos son criterios de referencia para evaluar su funcionamiento y eficiencia económica (Pech *et al.*, 2002), e identificar los factores que limitan su crecimiento (Tegebu *et al.*, 2012; Vilaboa y Díaz, 2009). Asimismo, representa una fuente importante de ingresos para las familias involucradas y conlleva una doble vertiente. Por un lado, mantiene la estructura rural por la generación de empleo y, por otro, las estrategias de manejo favorecen el cuidado del ambiente socioeconómico en el que se desarrollan (García-Martínez *et al.*, 2015). El objetivo del presente trabajo fue realizar un análisis del manejo de producción y económico para valorar oportunidades de desarrollo en unidades de producción con orientación a la producción de becerros para carne (Figura 1).

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el municipio de Tlatlaya, Estado de México (18° 41' N y 100° 27' O) a 1350 m de altitud. Tienen una extensión territorial de 798.92 km², que representan 3.55 % del total del estado, y cuenta con 165 localidades y una población de 33,308 habitantes (INEGI, 2010). La información se obtuvo a través de seguimientos técnico económicos y encuestas estructuradas a 21 ganaderos durante 2015. El número de muestreos representados por las unidades de producción (UP) se obtuvo mediante la ecuación:

$$n = \frac{N}{1 + (N * 0.1^2)}$$

donde n =tamaño de la muestra, N =tamaño de la población y 0.1^2 =error estándar determinado por el investigador (Hernández *et al.*, 2004) y las UP se escogieron aleatoriamente.

Se utilizó la metodología de presupuestos por actividad para realizar el análisis económico (Espinoza-Ortega *et*

al., 2007). Esta metodología determina el costo de producción por alimentación (forrajes y concentrados), mano de obra contratada, combustible, costos varios (asistencia técnica, medicinas etcétera) y fijos (depreciación de instalaciones y equipo), y el retorno económico por la venta de productos obtenidos. El margen bruto (MB) se calculó como:

$$(\text{ingresos} + \text{subsidios}) - (\text{costos de la actividad} + \text{costo de la mano de obra} + \text{costo de infraestructura})$$

El margen neto (MN) se calculó como:

$$(\text{valor total por venta de maíz, leche y animales}) - (\text{valor de insumos utilizados} + \text{mano de obra} + \text{infraestructura})$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las principales características estructurales indicaron que las UP son antiguas y coincide con la edad del ganadero (Cuadro 1). La disponibilidad de mano de obra es reducida y es de tipo familiar. Cuentan con un elevado porcentaje de superficie forrajera y número reducido de vacas. La familia representa la principal fuerza de trabajo, como lo ha identificado Romo-Bocco *et al.* (2014), quien además ha resaltado que la eficiencia económica de las UP se relaciona con la experiencia del ganadero y con la edad de la UP. La antigüedad de la UP se relaciona con un proceso tradicional, cultural y generacional, donde la UP se hereda como auto ahorro (Díaz-Rivera *et al.*, 2011). De acuerdo con García-Martínez *et al.* (2011) y Vilaboa y Díaz (2009), la edad del ganadero (59 años) se relaciona con el bajo nivel de estudios y el reducido relevo generacional. Esta situación puede comprometer la continuidad de la UP, debido a que los descendientes tienen mejores oportunidades de trabajo fuera del área rural (Romo-Bocco *et al.*, 2014). Sin embargo, la contribución del trabajo familiar favorece un mayor beneficio económico (Posadas-Domínguez *et al.*, 2013).

Principales ventas e ingresos

Los UPDPB se generaron tanto de la ganadería como de la agricultura. En este sentido, el mayor ingreso proviene de la ganadería (77.8 %). En este rubro, 97.7 % es de la venta de bovinos, bien sea en becerros para abasto o carne (Cuadro 2). El resto de los indicadores tienen baja representatividad en los ingresos totales. Los precios de venta fueron: $\$23.8 \pm 0.4$ por kg (210.2 ± 12.4 kg de peso vivo) para becerros, $\$44.2 \pm 0.6$ por kg para animales engordados (canal caliente de 220.1 ± 8.5 kg), de $\$13,212 \pm 2,469.3$ por macho o hembra para reposición,



Figura 1. Unidad de producción doble propósito carne en el municipio de Tlatlaya, Estado de México.

Cuadro 1. Principales características estructurales de las UP DP en la zona de Tlatlaya, Estado de México, 2015.

Variable	UPDPB	Variable (%)	UPDPB
Antigüedad de la UP	52.7	Propiedad	90.9
Edad del ganadero	57.2	Arrendamiento	9.1
Mano de obra (UTA)	1.0	Superficie forrajera	96.9
%mano de obra familiar	95.6	Cultivos agrícolas	3.1
%mano de obra contratada	4.4	Número de vacas	15.2
Numero de UP	21	Superficie de tierra	66.1

UTA=Unidad de trabajo año. UPDPB=Ingresos en las UP con orientación a la cría de becerros.

Cuadro 2. Principales ventas e ingresos promedio en las UPDB.

Agricultura	UPDPB (\$)	EEM (\$)
Maíz	9,800.00	7,300.00
Subsidios	15,400.00	2,100.00
Ingreso de la agricultura (Ita)	27,900.00	7,900.00
Ganadería		
Bovinos	91,900.00	19,600.00
Otras ventas	300.00	100.00
Subsidios ganadería	1,800.00	800.00
Ingreso de la ganadería (Itg)	94,000.00	22,500.00
Ingreso total (It)	121,900.00	30,400.00

EEM=Error estándar de la media.

Cuadro 3. Principales indicadores de rendimiento y manejo en las UPDPB de la zona de estudio.

Concepto (%)	UPDPB	EEM	Concepto (%)	UPDPB	EEM
ingresos ganado/IT	70.9	2.3	Subsidios/ITA	51.4	4.0
ngresos agrícolas/IT	29.1	2.3	Subsidios/ITG	5.1	0.8

EEM=Error estándar de la media.

Costos e importancia sobre el costo total promedio de producción

En las UP solo cultivan 3 % de la superficie disponible. El principal costo en la agricultura se relaciona con el mantenimiento y cosecha del maíz, mientras que el mayor costo en la ganadería fue por la alimentación, seguido del manejo sanitario y la mano de obra. El resto de las variables son de menor importancia (Cuadro 4).

El costo total unitario se muestra en la Figura 3. Se observa mayor costo por bovino vaca, principalmente por el elevado uso de insumos externos (balanceados comerciales), mientras que el costo por ha es bajo, debido a la reducida disponibilidad de superficie para cultivos agrícolas, además de bajo nivel de manejo en los cultivos, principalmente maíz.

Los principales indicadores económicos (Cuadro 5) muestran que el Margen Neto (MN) general y unitario por la venta de productos de origen animal fue mayor en relación con el que se percibe de la agricultura, como lo ha destacado Vences-Pérez (2014). En su conjunto, la actividad agropecuaria es rentable (Rebollar-Rebollar *et al.*, 2011), dejando claro que la ganadería es un opción de desarrollo (Pain, 2000), aunque la venta de animales y los precios pagados al productor pueden ser inestables y variar por la influencia de intermediarios y mercados informales (Romo-Bacco *et al.*, 2014). Asimismo, la producción de carne es importante y complementa la economía de las UP (Rebollar *et al.*, 2011). Con esta estrategia incrementan los ingresos y la diversificación de la actividad (Absalón-Medina *et al.*, 2012b). También se genera empleo, disminuye la migración y la

\$5,514.0±235.4 por vaca de desecho (\$17.0 kg peso vivo). Las cifras se aproximan a los valores de referencia de SIAP-SAGARPA (2014) y USDA (2014) durante 2013. De la agricultura se percibe solo 29 % del ingreso total. Los subsidios agrícolas suponen 55.2 % del ingreso total de este rubro (Cuadro 3). El estudio muestra la importancia de la estructura (hato, superficie y mano de obra) y la venta de maíz y becerros en los ingresos de las UP. Chalate *et al.* (2010) resaltaron que estos indicadores muestran la diferencia de la ganadería especializada y la de subsistencia. Además, el manejo extensivo del ganado con aprovechamiento de pastos y pastizales mediante pastoreo favorece el uso sustentable de los recursos disponibles (Bellaver y Bellaver, 1999).

La Figura 2 muestra el ingreso total (It) unitario y se observa que el menor valor lo registra por hectárea SAU, mientras que el It por unidad de trabajo es relativamente elevado por la baja utilización de mano de obra, como se mostró en el Cuadro 1.

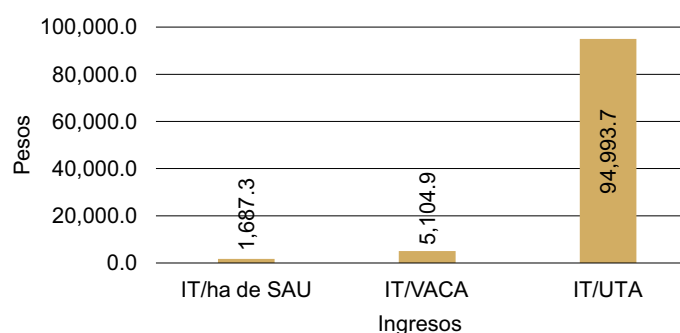


Figura 2. Ingreso total unitario en las UPDPB.

It=Ingreso total (Ganadería+agricultura). SAU=Superficie Agrícola Útil. UTA =Unidad de Trabajo Año (no. de jornales).

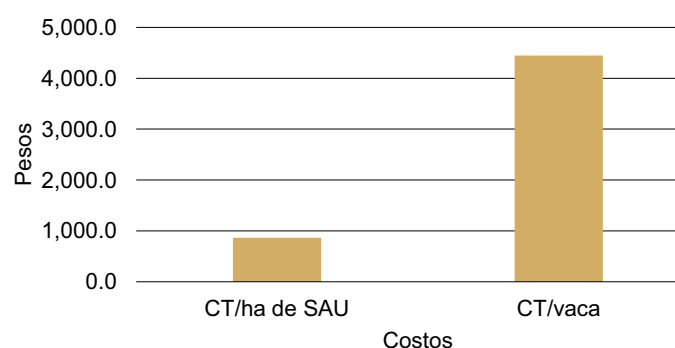


Figura 3. Costo total unitario en las UPDPB.

CT=Costo total (Ganadería+agricultura). SAU=Superficie Agrícola Útil.

pérdida de espacios rurales (Bellaver y Bellaver, 1999), y reduce el abandono de la actividad (García-Martínez *et al.*, 2011).

En función de lo anterior, un porcentaje elevado de UP no sabe si continuarán con cría de ganado (Figura 4). Ninguna UP dejará de producir y el mayor porcentaje de UP continuará con la ganadería, no obstante, el bajo MN^{-1} percibido. El estudio muestra la importancia de la estructura (hato, superficie y mano de obra) y la venta de maíz y becerros en los ingresos de PU DP. Chalate-Molina *et al.* (2010) resaltaron que estos indicadores muestran la diferencia de la ganadería especializada y la de subsistencia. En tanto, Espinoza-Ortega *et al.* (2005) indicaron la existencia de UP de subsistencia en pobreza alimentaria, de patrimonio y sin pobreza cuando dependen del ingreso de la producción de leche, mientras que García-Martínez *et al.* (2011) destacan la importancia de la diversificación como alternativa de desarrollo económico de la ganadería.

Bajo este enfoque, la familia representa la principal fuerza de trabajo ($90.6 \pm 2.3\%$), como lo ha identificado Romoo-Bacco *et al.* (2014). El mismo autor resaltó que la eficiencia económica de las UP se relaciona con la experiencia del ganadero y con la antigüedad de la UP, como sucede en DPT. La antigüedad de la UP se relaciona con un proceso tradicional, cultural y generacional en el que la UP se hereda como fuente de ahorro económico (Díaz-Rivera *et al.*, 2011), generando además ingresos para el bienestar familiar Bellaver y Bellaver (1999). De acuerdo con García-Martínez *et al.* (2001) y Vilaboa *et al.* (2009), la edad del ganadero (59 años) se relaciona con bajo nivel de estudios y reducido relevo generacional. Esta situación puede comprometer la continuidad de la UP, debido a que los descendientes tienen mejores oportunidades de trabajo (Romo-Bacco *et al.*, 2014). Sin embargo, la contribución del trabajo familiar favorece mayor beneficio económico (Posadas-Domínguez *et al.*, 2013). En DPB $90.6 \pm 1.5\%$ de la superficie se destina a la producción de forraje y en DPL y

DPT; el maíz molido se utiliza en la alimentación del ganado lechero como estrategia para disminuir costos de producción (Arriaga-Jordán *et al.*, 2002). El manejo del ganado es extensivo, con aprovechamiento de pastos y pastizales mediante pastoreo (Pech *et al.*, 2002; Ramírez *et al.*, 2007). Este manejo favorece el uso sustentable de los recursos disponibles (Bellaver y Bellaver, 1999). Se observó una carga ganadera por hectárea baja (0.58 ± 0.10). Otros estudios han destacado en UP especializadas el mayor ingreso ($51.7 \pm 5.7\%$) por producción de leche (venta de leche y queso), representando la fuente de mayores ingre-

Cuadro 4. Costos de producción de las UP (\$ miles de pesos mexicanos).

Concepto (%)	UPDPB (\$)	EEM (\$)
Costo totales de la agricultura (CTA^{-1})	7,500.0	2,700.0
Siembra	38.6	1.9
Mantenimiento y cosecha	61.4	1.9
Costo total de la ganadería (CTG %)	67.6	14.4
Alimentación	70.4	3.0
Sanitarios	8.6	1.4
Instalaciones	7.8	1.1
Mano de obra	8.9	2.3
Compra de animales	3.4	1.3
Ustillaje	0.9	0.7

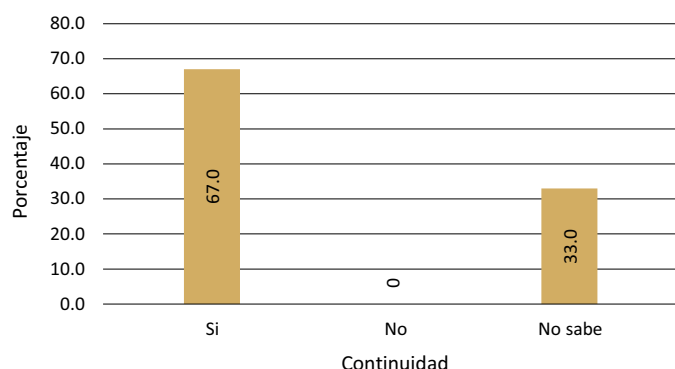
EEM=Error estándar de la media.

Cuadro 5. Principales indicadores económicos en las UP DP en estudio.

Agricultura	DPB (\$)	EEM (\$)
Margen Bruto ⁻¹ (MB)	17,700.0	5,800.0
Margen Neto ⁻¹ (MN)	2,300.0	1,400.0
MN ha ⁻¹	1,300.0	1,200.0
Ganadería		
MB ⁻¹	26,400.0	17,800.0
MN ⁻¹	24,600.0	17,800.0
MN ha ⁻¹	800.0	500.0
MN vaca ⁻¹	1,500.0	800.0
Agricultura y ganadería		
MB ⁻¹	44,100.0	20,100.0
MN ⁻¹	26,900.0	19,200.0

EEM=Error estándar de la media.

En la ganadería DP (Rojo-Rubio *et al.*, 2009) y en PU en pequeña escala (Arriaga-Jordán *et al.*, 2002). En las UPDPB, 94.4±4.7 % del beneficio se obtiene de la venta de becerros. En su conjunto, la actividad agropecuaria es rentable (Rebollar-Rebollar *et al.*, 2011). Del IT, 30.7±2.3 proviene de la agricultura y 69.2±2.3 % de la ganadería y dejando claro que la ganadería es una opción de desarrollo. Las UP tienen acceso a subsidios gubernamentales (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007); destacan las UPDPB con 51.4±7.9% del IT generado por la agricultura. En relación con la venta de animales, los precios pagados al productor son inestables y varían por la influencia de intermediarios y mercados informales (Romo-Bacco *et al.*, 2014). Los precios de venta fueron: \$23.8±0.4 por kg (210.2±12.4 kg de peso vivo) para becerros, \$44.2±0.6 por kg para animales engordados (canal caliente de 220.1±8.5 kg), de \$13,212±2,469.3 por macho o hembra para reposición, \$5,514.0±235.4 por vaca de desecho (\$17.0 por kg de peso vivo). Las cifras se aproximan a los valores de referencia de SIAP-SAGARPA (2014) y USDA (2014) durante 2013. En el MN por venta

**Figura 4.** Continuidad del ganadero en la cría de ganado en las UPDPB.

de maíz se obtuvieron \$48.6±15.4 por día. El MN de la ganadería fue de \$67.4±118.0 por día, respectivamente. (Romo-Bacco *et al.* (2014) resaltan brechas económicas debido al tamaño de la UP. En el beneficio de la ganadería se obtuvo un MN por venta de ganado de \$67.2±18.0 por día, similar a reportes de trabajos relacionados (Absalón-Medina *et al.*, 2012b; Shamsuddin *et al.*, 2006). Absalón-Medina *et al.* (2012b) y Magaña *et al.* (2006) resaltaron la creciente demanda de leche y carne en México e indicaron que el sistema DP puede incrementar de 40 % a 60 % su producción, aprovechando eficientemente los recursos disponibles. Algunos factores que pueden

influir en baja producción de leche son: topografía, clima y estacionalidad de la producción de forraje (Aguilar-Pérez *et al.*, 2011; Rojo-Rubio *et al.*, 2009). Esta es una de las principales razones por las que muchas UP dejan de producir leche para dedicarse únicamente a la cría de becerros para abasto. Sin embargo, las condiciones de producción son desfavorables y los ingresos que se pueden generar son bajos. Desde esta perspectiva, la producción de leche es una alternativa económica más estable (Shamsuddin *et al.*, 2006) que puede complementarse con el aprovechamiento eficiente de pastos, pastizales y árboles disponibles para la alimentación del ganado y disminuir costos de producción. Asimismo, establecer estrategias de alimentación adecuadas durante el periodo de sequía en el que disminuye la producción y calidad de forraje y se limita la producción de leche y carne (Absalón-Medina *et al.*, 2012a; Reynoso-Campos *et al.*, 2004). Asimismo, disminuir el uso de insumos externos (Shamsuddin *et al.*, 2006) sobre utilizados para la alimentación del ganado que llegan a suponer 75.8±5.2 % de los costos totales. Económicamente, la producción de leche es una opción atractiva (Espinoza-Ortega *et al.*, 2007) y representa una fortaleza para el sistema, por la tradición en el consumo de queso en la zona de estudio (Rebollar *et al.*, 2011). Algunos datos indican que en el caso de UP DP especializadas en la producción de leche y UPDP tradicional destinan 44.7±12.0 % y 93.7±3.7 % de la leche producida, respectivamente a la elaboración de queso (Vences-Pérez, sin publicar). Obtienen un promedio de 2.0±0.5 y 1.1±1.6 kg de queso por día. La producción de carne también es importante y complementa la economía de las UP (Rebollar-Rebollar, 2011). Con esta estrategia incrementan los ingresos y la diversificación de la actividad (Absalón-Medina *et al.*, 2012b). También

se genera empleo, disminuye la migración y la pérdida de espacios rurales (Bellaver y Bellaver, 1999), y se evita el abandono de la actividad (García-Martínez *et al.*, 2011).

CONCLUSIONES

La ganadería es una de las principales actividades económicas en la zona de estudio. Sin embargo, las UPDP con orientación a la cría de becerros perciben ingresos bajos y depende de la venta de animales con limitado margen de ganancia. Son unidades de producción típicas de la zona de estudio, gestionadas por el ganadero y su familia.

LITERATURA CITADA

- Absalón-Medina V.A., Blake R.W., Fox D.G., Juárez-Lagunes F.I., Nicholson C.F., Canudas-Lara E.G., Rueda-Maldonado B.L. 2012b. Economic analysis of alternative nutritional management of dual-purpose cow herds in central coastal Veracruz, Mexico. *Trop Anim Health Pro.* 44: 1143-1150.
- Absalón-Medina V.A., Nicholson C.F., Blake R.W., Fox D.G., Juárez-Lagunes F.I., Canudas-Lara E.G., Rueda-Maldonado B.L. 2012a. Limitations and potentials of dual-purpose cow herds in Central Coastal Veracruz, Mexico. *Trop Anim Health Pro.* 44: 1131-1142.
- Aguilar-Pérez C., Ku-Vera J.C., Magaña-Monforte J.G. 2011. Energetic efficiency of milk synthesis in dual-purpose cows grazing tropical pastures. *Trop Anim Health Pro.* 43: 767-772.
- Aranda-Ávila I., Magaña-Monforte J.G., Segura-Correa J.C. 2010. Effects of breed type and age at first calving on length of productive life in a cow-calf system in Southeastern Mexico. *Trop Anim Health Pro.* 42:1737-1741.
- Bellaver C., Bellaver I.H. 1999. Livestock production and quality of societies' life in transition economies. *Livest Prod Sci.* 59: 125-135.
- Chalate-Molina H., Gallardo-López F., Pérez-Hernández P., Lang-Ovalle F.P., Ortega-Jiménez E., Vilaboa A.J. 2010. Características del sistema de producción bovinos doble propósito en el estado de Morelos, México. *Zoot Trop.* 28 (3): 329-339.
- Díaz-Rivera P., Oros-Noyola V., Vilaboa-Arroniz J., Martínez-Dávila J.P., Torres-Hernández G. 2011. Dinámica del desarrollo de la ganadería doble propósito en las Choapas, Veracruz, México. *Trop Subt Agroec.* 14: 191-199.
- Espinosa-Ortega A., Espinosa-Ayala E., Bastida-López J., Castañeda-Martínez T., Arriaga-Jordán C.M. 2007. Small-scale dairy farming in the highlands of central Mexico: Technical, economic and social aspects and their impact on poverty. *Exp Agr.* 43: 241-256.
- García-Martínez A., Bernués A., Olaizola A.M. 2011. Simulation of mountain cattle farming system changes under diverse agricultural policies and off-farm labour scenarios. *Livest Sci.* 137: 73-86.
- García-Martínez A., Albarrán-Portillo B., Avilés-Nova F. 2015. Dinámicas y tendencias de la ganadería doble propósito en el sur del Estado de México. *Agrociencia.* 49: 125-139.
- INEGI. 2010. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e informática. Disponible en: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=15>. Consultado: mayo de 2014.
- INEGI. 2013. Censo agrícola y ganadero 2009. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Disponible en: www.inegi.mx. Consultado: 28 jul, 2013.
- Pech M.V., Santos J.F., Montes M.P. 2002. Función de producción de la ganadería doble propósito en la zona oriente del estado de Yucatán, México. *Téc Pec Méx.* 40 (2): 187-192.
- Posadas-Domínguez R.R., Arriaga-Jordán C.M., Martínez-Castañeda F.E. 2013. Contribution of family labour to the profitability and competitiveness of small-scale dairy production systems in central Mexico. *Trop Anim Health Pro.* 46: 235-240.
- Rebollar-Rebollar A., Hernández-Martínez J., Rebollar-Rebollar S., Guzmán-Soria E., García-Martínez A., González-Razo F.J. 2011. Competitividad y rentabilidad de bovinos en corral en el sur del Estado de México. *Trop Subt Agroec.* 14: 691-698.
- Rojo-Rubio R., Vázquez-Armijo J.F., Pérez-Hernández P., Mendoza-Martínez G.D., Salem A.Z.M., Albarrán-Portillo B., González-Reyna A., Hernández-Martínez J., Rebollar-Rebollar S., Cardoso-Jiménez D., Dorantes-Coronado E.J., Gutiérrez-Cedillo J.G. 2009. Dual purpose cattle production in Mexico. *Tropical Trop Anim Health Pro.* 41:715-721.
- Romo-Bacco C.E., Arturo G.V., Carranza T.R.G., Cámara C.J., Zavala A.M.P., Flores A.E., Espinosa G.J.A. 2014. Brechas de rentabilidad económica en pequeñas unidades de producción de leche en el altiplano central mexicano. *Rev Mex Cien Pec.* 5 (3): 273-290.
- SIAP-SAGARPA. 2013. Panorama de la lechería en México 2013. Disponible: www.siap.gob.mx/wp-content/.../boletinleche/Bbolet_4totrim2013.pdf. Consultado 10 nov, 2014.
- SIAP-SAGARPA. 2014. Servicios de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). Secretaría de Ganadería, Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/ganaderia-resumen-municipal-pecuario/>. Consultado: 10 de noviembre de 2014.
- Tegebu F.N., Mathijs E., Deckers J., Haile M., Nyssen J., Tollens E. 2012. Rural livestock asset portfolio in northern Ethiopia: a microeconomic analysis of choice and accumulation. *Trop Anim Health Pro.* 44:133-144.
- Tinoco-Magaña J.C., Aguilar-Pérez C.F., Delgado-León R., Magaña-Monforte J.G., Ku-Vera J., Herrera-Camacho J. 2012. Effects of energy supplementation on productivity of dual-purpose cows grazing in a silvopastoral system in the tropics. *Trop Anim Health Pro.* 44: 1073-1078.
- USDA. 2014. Meat Price Spreads. Disponible: <http://www.ers.usda.gov/data-products/meat-price-spreads.aspx>. Consultado: 10 noviembre de 2014.
- Vences-Pérez J. 2014. Análisis de la sustentabilidad de los sistemas de ganado bovino en el municipio de Tlatlaya, estado de México. Tesis de Maestría en Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Centro Universitario UAEM Temascaltepec. Universidad Autónoma del Estado de México. 105 pp.
- Vilaboa A.J., Díaz R.P. 2009. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los sistemas de ganaderos en siete municipios del estado de Veracruz, México. *Zoot Trop* 4: 427-437.

CUANTIFICACIÓN DE METALES PESADOS EN EL CULTIVO DE LA FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch. var. festival) EN TENANCINGO Y VILLA GUERRERO ESTADO DE MÉXICO

QUANTIFICATION OF HEAVY METALS IN THE CULTIVATION OF STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* Duch. var. festival) IN TENANCINGO AND VILLA GUERRERO, ESTADO DE MÉXICO

Dotor-López, G.I.¹; Zúñiga-Cruz, A.¹; Cruz-Monterrosa, R.G.²; Díaz-Ramírez, M.²; Rayas-Amor A.A.^{2*}

¹Departamento de Ciencias Ambientales, ²Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma.

*Autor para correspondencia: a.rayas@correo.ler.uam.mx

RESUMEN

Un tema de gran preocupación en la actualidad es el impacto ambiental que genera la agricultura por el uso de agroquímicos en algunos casos en altas cantidades. Aunado a lo anterior, existe contaminación del suelo y agua empleada con sustancias tóxicas, derivadas de acciones antropocéntricas; tal es el caso de los metales pesados. El objetivo del presente estudio fue determinar la presencia y concentración de los metales pesados: Al, As, Cr, Pb, Cu y Zn en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) var. festival, suelo y agua usada en su producción. Las muestras se recolectaron de cultivos en micro túnel y campo abierto en Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México, respectivamente. Se recolectaron 20 muestras de fruto, 12 de suelo (0-30 cm) y 10 de agua. La determinación de metales pesados se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados muestran que el Al y Zn fueron los elementos presentes en mayor cantidad (mg kg^{-1}) tanto en frutos de fresa, como en suelo y agua. El Cr se detectó en Villa Guerrero en fruto y agua, mientras que el Pb se registró en frutos procedentes de Tenancingo.

Palabras clave: espectrofotometría absorción atómica; alimentos contaminados, límites permisibles.

ABSTRACT

A theme of great concern today is the environmental impact generated by agriculture from the use of agrichemicals, in some cases in high quantities. In addition to this, there is soil pollution and water used with toxic substances, derived from anthropocentric actions, as is the case of heavy metals. The objective of this study was to determine the presence and concentration of heavy metals: Al, As, Cr, Pb, Cu and Zn in strawberry fruits (*Fragaria x ananassa* Duch.) var. festival, soil and water used in its production. The samples were collected from micro tunnel and open field crops in Tenancingo and Villa Guerrero, Estado de México, respectively. Twenty (20) samples of the fruit were collected, 12 of soil (0-30 cm) and 10 of water. The determination of heavy metals was performed by atomic absorption spectrophotometry. The results show that Al and Zn were the elements present in highest quantity (mg kg^{-1}) both in strawberry fruits and in the soil and water. Cr was detected in Villa Guerrero in fruit and water, while Pb was seen in fruits from Tenancingo.

Keywords: atomic absorption spectrophotometry, contaminated foods, permissible limits.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 29-33.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.



INTRODUCCIÓN

La contaminación de metales pesados se ha convertido en problema común por altos niveles de contaminación en el aire, agua y suelo, causado por las actividades antropogénicas, resaltando la toxicidad por metales pesados, producto de actividades humanas. Aun cuando algunos metales se encuentran de forma natural (minerales, sales u otros compuestos) (Abollino *et al.*, 2002), las actividades ganaderas, florícolas y agrícolas, debido al uso excesivo de agroquímicos, aportan cantidades de estos, siendo estas dos últimas las principales actividades económicas en los municipios de Villa Guerrero y Tenancingo, Estado de México. La mayoría de las unidades de producción (envases vacíos) no tienen una disposición final reglamentada, se tiran cerca de cuerpos de agua o en el sitio de cultivo derramándose el material sobrante, de tal forma que cuando llueve se infiltra en el suelo hasta llegar a los mantos acuíferos, afectando la calidad de agua tanto superficial como subterránea (Gomora *et al.*, 2005). El objetivo del presente trabajo fue evaluar la presencia y concentración de los metales pesados: Al, As, Cr, Pb, Cu y Zn en frutos de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch. var. festival), así como en el suelo y agua utilizados para su cultivo en Tenancingo y Villa Guerrero, Estado de México y comparar los valores con la Normatividad vigente.

MATERIALES Y MÉTODOS

La región fresera se encuentra ubicada al sureste del Estado de México ($18^{\circ} 48'$ y $18^{\circ} 55' N$; $99^{\circ} 35'$ y $99^{\circ} 41' O$), entre 1 600 y 2000 m de altitud, abarcando aproximadamente 2854 ha entre los municipios de Ixtapan de la Sal, Tenancingo, Tonalico, Villa Guerrero y Zumpahuacán, donde predomina el clima cálido y semiárido, así como enormes elevaciones y barrancas. El tipo de suelo de esta región es de origen volcánico, por lo que sus características geológicas se vinculan con la formación geológica Balsas. Los tipos de suelo predominantes son

vertisol pélico, que suele ser arcilloso y de color negro a grisáceo, teniendo una textura fina en la parte más superficial del suelo y el feozem hálpico que se caracteriza por ser rico en materia orgánica, haciéndolo útil para practicar la agricultura (Pérez, 2007). Esta zona forma parte de la Cuenca del Río Grande de Amacuzac, que nace del Volcán Xinantécatl, y este a su vez pertenece a la Región Hidrológica del Río Balsas. Algunos de los ríos más importantes de la región son: Tenancingo, Arroyo Grande, San Martín; estos a su vez tienen afluentes en el Río Cuajimalpa, los Cuervos y Zacatonal, que desembocan finalmente en el Río Calderón y San Jerónimo (INEGI, 1982). El muestreo se llevó a cabo en el mes de febrero, que registra la mayor producción en la región de estudio. Los sitios de muestreo se localizaron en dos predios diferentes: "La Fábrica", en el municipio de Tenancingo, y "La Finca", en Villa Guerrero (Figura 1).

Se tomó una muestra representativa de 10 lotes, considerando como lote a cada uno de los surcos del cultivo de los sitios de muestreo al azar, sin hacer excepción en las características fisiológicas del fruto. La muestra presentó un peso aproximado de 300 g en cada lote. Para el caso del suelo se delimitó el sitio de muestreo en tres cuadrantes y en cada uno se tomó una muestra compuesta, de acuerdo con lo establecido en la Norma Mexicana NMX-AA-132-SCFI-2006 (Muestreo de Suelos

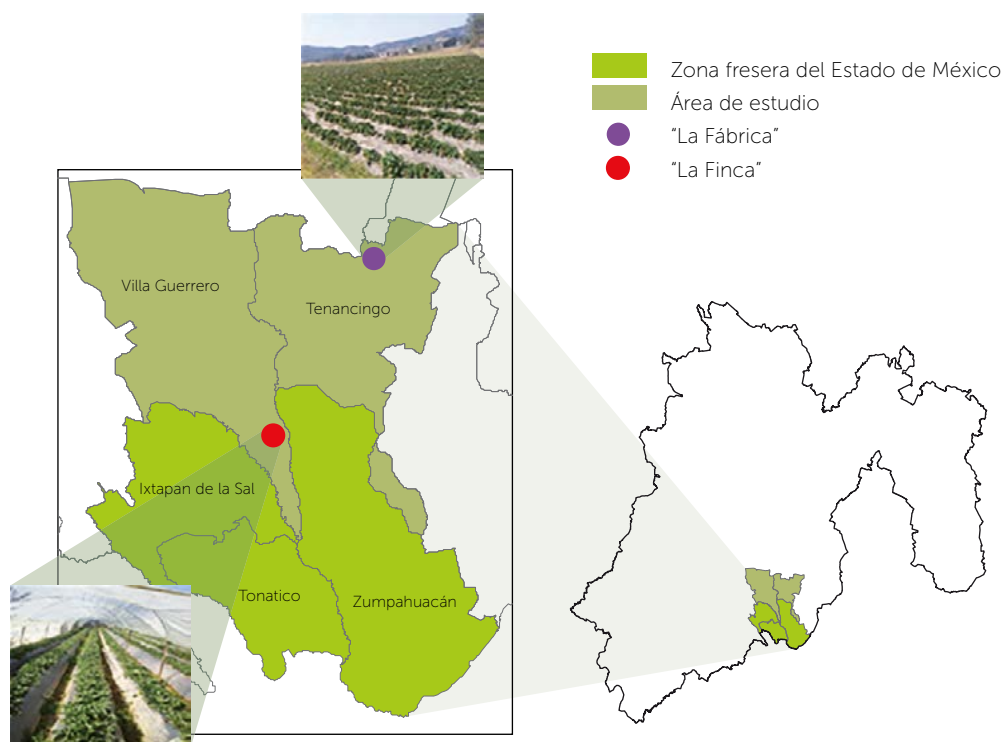


Figura 1. Sitios de muestreo en la zona fresera del Estado de México.

para la Identificación y la Cuantificación de Metales y Metaloides, y Manejo de la Muestra), con un peso aproximado de 500 g por cada muestra. La muestra de agua se tomó de tres puntos: origen, riego y almacenamiento, en cada uno de ellos se obtuvo una muestra de 250 mL. Al mismo tiempo se midió la temperatura y el pH, basado en la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980 (Establece Aguas Residuales-Muestreo).

Determinación de materia seca en el fruto

El fruto se pesó inmediatamente después de ser cortado para evitar la deshidratación. Posteriormente, se cortó en capas delgadas para obtener un mejor secado y depositó en la estufa por 48 h, a temperatura constante de 100 °C. Transcurrido este tiempo, la muestra se trasladó al desecador y posteriormente se volvió a pesar para obtener el peso seco de la muestra. El contenido de materia seca se calculó de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NMX-F-257-S-1978.

Tratamiento de las muestras

Suelo: Previo a su análisis, el suelo se colocó en hojas de papel periódico por tres días al aire libre a una temperatura ambiente; una vez secas, se trituraron y se pasaron por un tamiz No. 18; se almacenaron hasta su análisis.

Agua: Las muestras se almacenaron durante siete días en un refrigerador a 4 °C hasta su análisis.

Determinación de metales pesados

De acuerdo con la Norma Oficial Mexicana NOM-117-SSA1-1994 (Bienes y Servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica) y a la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio). El análisis se realizó de la siguiente manera:

Digestión ácida del fruto, suelo y agua: se tomó 1 g de las muestras de suelo tamizado, la misma cantidad de muestras de fresa ya secas y molidas y 1 mL de las diferentes muestras de agua. Cada muestra se colocó en un tubo de digestión, se agregaron 4 mL de HNO₃ concentrado, 8 mL de H₂O desionizada y 2 mL de HClO₄. Esto se colocó en la campana de extracción a 35 °C; cuando la solución se tornó color blanco se aumentó la temperatura gradualmente a 90 °C hasta su digestión. Terminado el proceso y una vez fría la solución se aforó con HCL 7M en un matraz de 25 mL.

Lectura de las muestras: Se utilizó un ICP Espectrofotómetro de Emisión Óptica (IPC-OES), marca Varian, modelo 725-ES, el cual determina concentraciones de elementos a nivel ppm (mg kg⁻¹) en solución, limpiando entre cada muestra con HCL 7M, misma que fue utilizada al momento de aforar las muestras. Se realizó una curva de calibración con los elementos que se especificaron a concentraciones de entre 1.5 y 1000 mg kg⁻¹.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos de pH y temperatura en muestras de agua en los sitios de estudio. Conforme con ello, el lugar denominado "La Presa", en el municipio de Villa Guerrero, es el único lugar que tiene valor de pH superior a los límites per-

misibles. En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos de la determinación de metales pesados en muestras de agua en los dos sitios de muestreo: se encontró Al, As, Cr, Cu, Pb y Zn; no obstante, los de mayor cantidad fueron Al y Zn.

Según lo establecido en Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, el pH óptimo del agua debe oscilar entre 6.5 y 8.5, teniendo un pH

máximo considerable de 9.5 (OMS, 2006). La Figura 3 muestra el contenido de metales pesados registrados en suelo (As, Cr, Cu, Pb), con valores inferiores al límite máximo permitido; sin embargo, las concentraciones de Al y Zn superaron los límites permitidos por la Norma Oficial Mexicana.

Cuadro 1. Potencial de hidrógeno (pH) y temperatura del agua al momento del muestreo en dos localidades del Estado de México.

Sitio	Identificación del punto de muestreo	pH	Temperatura (°C)
"La fábrica" Tenancingo	Origen	6.89	16.8
	Arrollo uno	7.19	14.2
	Arrollo dos	7.09	13
	Tanque de almacenamiento	7.55	15.8
	Sistema de riego	7.40	15.2
"La finca" Villa Guerrero	Tanque de almacenamiento	8.86	23.4
	Agua en canal riego	9.34	19.4
	Canal del bordo	8.84	15.3
	Bordo uno	9.88	25.1
	Bordo dos	9.83	13.1

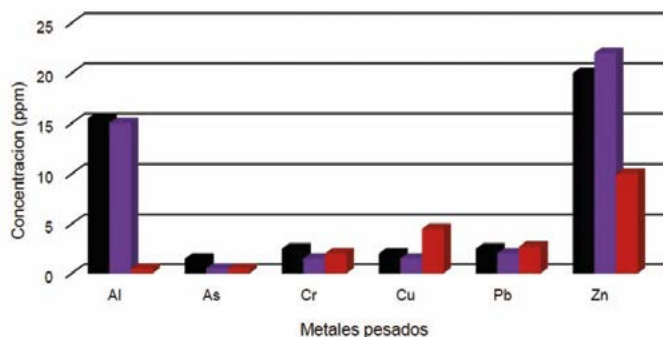


Figura 2. Concentración de metales pesados en muestras de agua en los predios “La Finca” en Villa Guerrero (barra negra), “La Fábrica” en Tenancingo (barra morada), Limite Permissible (barra roja). Al: aluminio, As: arsénico, Cr: cromo, Cu: cobre, Pb: plomo, Zn: zinc.

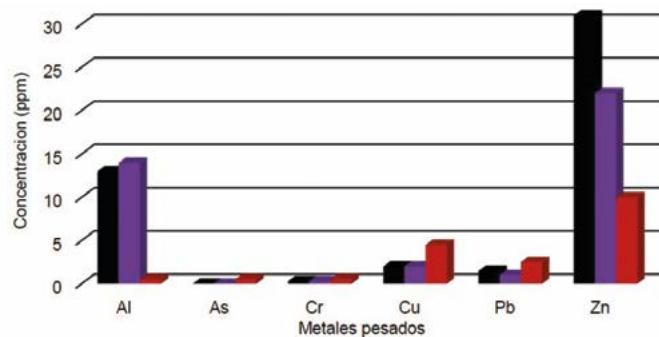


Figura 3. Concentración de metales pesados en muestras de suelo en los predios “La Finca” en Villa Guerrero (barra negra), “La Fábrica” en Tenancingo (barra morada), Limite Permissible (barra roja). Al: aluminio, As: arsénico, Cr: cromo, Cu: cobre, Pb: plomo, Zn: zinc.

Los resultados de materia seca del fruto (Figura 4), obtenidos de 78.8 g kg⁻¹ en el predio “La fábrica” de Tenancingo, y 97 g kg⁻¹ de predio “La finca” de Villa Guerrero.

En la Figura 5 se presenta la concentración de metales pesados en fruto de fresa, encontrándose As y Cu en concentraciones inferiores al límite máximo permitido. Se observó una concentración baja de Cr y PB; sin embargo, Al y Zn sobrepasaron los límites permisibles en ambos predios de estudio.

Los límites permisibles de metales pesados en alimentos son distintos en los países; tal es el caso de lo que se puede observar en el Cuadro 2, donde se muestran los límites para fruto, agua y suelo de acuerdo a la normatividad vigente.

El Cuadro 3 muestra el grado de relación que existe entre la presencia de metales pesados encontrados en las fuentes de abastecimiento de agua para la producción del cultivo, el suelo cultivado y los frutos de fresa, observando que las correlaciones fueron altamente

significativas entre estas variables, lo cual indica que si se detectan metales pesados en las fuentes de abastecimiento de agua existe alta probabilidad de que serán

Cuadro 2. Límites permisibles de metales pesados (mg kg⁻¹) en fruto, suelo y agua, de acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996.

	Al	As	Cr	Cu	Pb	Zn
Fruto	0.2	0.2	0.1	10	0.5	10
Suelo	0.2	0.2	0.5	4.0	2.0	10
Agua	0.2	0.2	1.0	4.0	2.0	10

Cuadro 3. Correlación de Pearson de metales pesados entre fruto, suelo y agua.

Sitio	Variable	“La finca”, Villa Guerrero		“La fábrica”, Tenancingo	
		Fruto	Suelo	Fruto	Suelo
“La finca”	Suelo	0.982***			
	Agua	0.994***	0.959**		
“La fábrica”	Suelo			0.988***	
	Agua			0.974**	0.996***

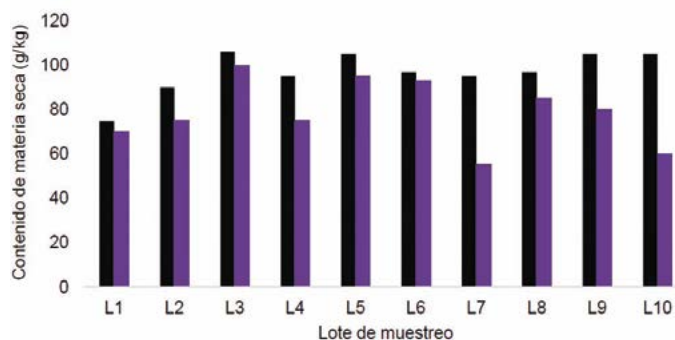


Figura 4. Contenido de materia seca de los frutos de fresa en los predios “La Finca” en Villa Guerrero (barra negra), “La Fábrica” en Tenancingo (barra morada) Al: aluminio, As: arsénico, Cr: cromo, Cu: cobre, Pb: plomo, Zn: zinc.

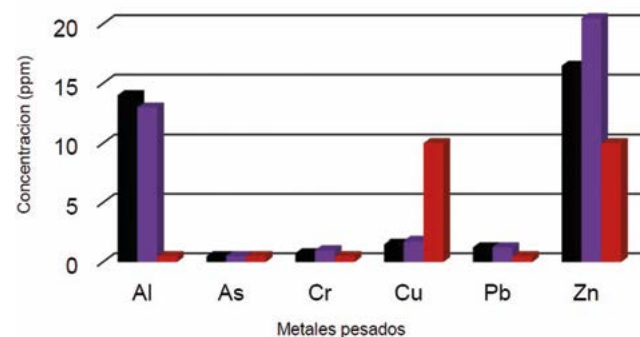


Figura 5. Concentración de metales pesados en muestras de fruto de fresa (*Fragaria xananassa* Duch. var. festival) en los predios “La Finca” en Villa Guerrero (barra negra), “La Fábrica” en Tenancingo (barra morada), Limite Permissible (barra roja). Al: aluminio, As: arsénico, Cr: cromo, Cu: cobre, Pb: plomo, Zn: zinc.

detectados en los suelos y, por lo tanto, en la planta y fruto de fresa.

CONCLUSIONES

Por lo general, la contaminación por metales pesados está asociada comúnmente con las descargas municipales e industriales (desechos inorgánicos, descargas sólidas de residuos peligrosos y basura doméstica e industrial) que van directamente hacia los cuerpos de agua; sin embargo, en este estudio el principal factor que puede explicar las altas concentraciones de Al y Zn es la utilización de agroquímicos que se aplican antes y durante la producción de la fresa debido a que el manejo es intensivo.

LITERATURA CITADA

- Abollino O., Aceto M., Malandrino M., Mentaste E., Sarzanini C., Barberis R. 2002. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution, 119: 177.
- Codex Alimentarius CODEX STAN 193-1995 Norma general para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.
- Gomora J., Sánchez J., Pacheco V., Pavón T., Adame S., Barrientos, B. 2005. Integración de indicadores de desempeño ambiental para la producción Florícola. [Archivo PDF]. Recuperado de http://web.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/GD/EO/GDO-27.pdf
- OMS. 2006. (3rd ed., p. 338). Ginebra 27, Suiza. Obtenido de: http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf
- SEMARNAT. 1996. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 1996. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996. "Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes Nacionales". Diario Oficial de la Federación (DOF), 24 de Diciembre de 1996.
- SEMARNAT. 2004. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. "Criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio". Diario Oficial de la Federación (DOF), 11 de Noviembre de 2005.



NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA: BIONANOCOMPUESTOS EN EMPAQUES DE ALIMENTICIOS

NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY: BIONANOCOMPOUNDS IN FOOD PACKAGING

Landa-Salgado, P.^{1*}; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Hernández-Guzmán, F.J.²; Reséndiz-Cruz, V.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana. Calle de las Garzas No. 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, México. ²Universidad Politécnica Francisco I. Madero. Domicilio Conocido, Francisco I. Madero, 42660 Tepatepec, Hidalgo.

*Autor de correspondencia: p.landa@correo.uam.ler.mx

RESUMEN

La mayoría de las industrias alimentarias utilizan envases no biodegradables y la aplicación de bionanocompuestos promete expandir el uso de películas o cubiertas comestibles y biodegradables para su uso en productos alimenticios. Los plásticos biopolímeros o biodegradables deben mantener condiciones apropiadas de humedad, temperatura y disponibilidad de oxígeno, sin dejar ningún residuo tóxico. Los biopolímeros por su materia prima y su fabricación se clasifican en biopolímeros naturales y por fermentación microbiana. Los bionanocompuestos pueden ser nanorellenos a base de celulosa, nanotubos de carbono, nanoarcillas y nanorellenos funcionales. Estas nuevas tecnologías llevan una responsabilidad ética donde las cubiertas no causen daño al ambiente y la salud de los consumidores. Con base en lo anterior, se presenta una revisión de las principales características de los bio nanocompuestos en los empaques de alimentos.

Palabras clave: nanotecnología, biocompuestos, embalaje, postcosecha

ABSTRACT

Most food industries use non-biodegradable packaging; and the application of bionanocompounds promises to expand the use of edible and biodegradable coating or covers for use in food products. The biopolymer or biodegradable plastics must maintain appropriate conditions of moisture, temperature and oxygen availability, without leaving any toxic residue. The biopolymers are classified into natural polymers and by microbial fermentation because of their prime material and fabrication. The bionanocompounds can be nanofillings based on cellulose, carbon nanotubes, nanoclays and functional nanofillings. These new technologies lead to ethical responsibility, where the covers do not cause harm to the environment and to consumers' health. Based on this, a revision of the main characteristics of bionanocompounds in food packaging is presented.

Keywords: nanotechnology, biocompounds, packaging, post-harvest.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 34-40.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

El uso de envases adecuados para el empaque en la industria de los alimentos es de gran interés, debido al potencial para extender la vida anaquel de muchos alimentos (Sorrentino *et al.*, 2007). La función principal de los empaques es aumentar la vida de anaquel, previniendo cambios desfavorables causados por el deterioro originado por microorganismos, contaminantes químicos, cambios de temperatura, humedad, y exposición a la luz, de tal forma que se pueda mantener la calidad e inocuidad de los productos alimenticios desde el tiempo en que se producen hasta su consumo (Shankar y Rhim, 2016). Actualmente, la mayor parte de los materiales que se usan en la industria alimentaria para envasar; son derivados de combustibles fósiles no biodegradables (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Se estima que la industria del embalaje consume más de 40 % de los plásticos producidos (Silvestre *et al.*, 2011), de los cuales 50 % se usa para envasar alimentos (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Además, la disposición final de estos representa un problema de contaminación importante (Marsh, y Bugusu, 2007). Desafortunadamente, el uso de materiales biodegradables para envasar productos alimenticios ha sido limitado (Sorrentino *et al.*, 2007). Un material "compuesto" es aquel que contiene dos o más fases; una es la continua y otra es la dispersa. Normalmente la primera es un polímero, mientras que la dispersa es un material de relleno o de refuerzo (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Cuando estos "compuestos" tienen componentes de un solo polímero o mezcla, de los cuales al menos uno de ellos tiene dimensiones inferiores a los 100 nm son conocidos como nanocompuestos (Shankar y Rhim, 2016). Los materiales nanométricos poseen propiedades inusuales muy diferentes de sus contrapartes a nivel microescala. La aplicación de nanocompuestos y bionanocompuestos promete expandir el uso de las películas y cubiertas comestibles y biodegradables para su uso en productos alimenticios (Rhim *et al.*, 2013; Shankar y Rhim, 2016). Los plásticos biopolímeros o biodegradables son materiales poliméricos en los cuales al menos en uno de los pasos del proceso de biodegradación se lleva a cabo a través del metabolismo de microorganismos naturales (Rhim *et al.*, 2013). La degradación ocurre en condiciones apropiadas de humedad, temperatura, disponibilidad de oxígeno y biodegradación que conducen a la fragmentación o desintegración de los plásticos sin ningún residuo tóxico para el ambiente (Rhim *et al.*, 2013).

Tipos de biopolímeros: La clasificación de los biopolímeros basado en el origen de la materia prima y su fabricación (Rhim *et al.*, 2013; Sorrentino *et al.*, 2007).

Biopolímeros naturales: carbohidratos (almidón, celulosa, quitosano, alginato, agar y carragenano); proteínas (proteína de soya, zeína de maíz, gluten de trigo, gelatina, colágeno, proteína de suero de leche y caseína).

Biopolímeros biodegradables sintetizados químicamente: poli (ácido láctico, PLA), poli (ácido glicólico, PGA), poli (ϵ -caprolactona, PCL), poli (succinato de butileno, PBS) y poli (vinil alcohol, PVOH).

Biopolímeros producidos por fermentación microbiana: Poliésteres microbianos, tales como los poli (hidroxialcanoatos, PHAs), que incluyen poli (3-hidroxi butirato-co-3-hidroxi valerato, PHBV), así como polisacáridos microbianos como pululano y curdlan.

La desventaja de los biopolímeros es que tienen propiedades mecánicas y de barrera deficientes, así como bajo rendimiento, procesamiento y costo (Reddy *et al.*, 2013). Sin embargo, con la ayuda de la nanotecnología se han desarrollado los nanocompuestos que muestran mejores propiedades de barrera, resistencia mecánica, así como mayor tolerancia al calor con respecto a biopolímeros puros y otros compuestos convencionales (Duncan, 2011).

Bionanocompuestos como nanorellenos: Los bionanocompuestos usados para la preparación de nanorellenos son los siguientes (Reddy *et al.*, 2013).

Nanorellenos a base de celulosa: La celulosa es el carbohidrato más abundante del planeta y es un recurso renovable y biodegradable (Moon *et al.*, 2011), lo cual lo hace amigable con el ambiente. Son nanofibras muy atractivas para la preparación de refuerzos para los nanocompuestos (Reddy *et al.*, 2013). Las microfibras de celulosa y celulosa nanocristalina son dos tipos de refuerzo en la preparación de bionanocompuestos a base de celulosa (Moon *et al.*, 2011) y consisten en haces de moléculas que son alargadas y estabilizadas mediante enlaces de hidrógeno (Eichhorn *et al.*, 2010). Las dimensiones típicas de estas nanofibrillas son 2-20 nm de diámetro y tienen regiones tanto amorfas como cristalinas (Siró y Plackett, 2010). Las propiedades de los nanocompuestos a base de celulosa dependen de las

dimensiones y proporciones de aspecto consecutivas, así como de los efectos mecánicos y de percolación (Eichhorn *et al.*, 2010; Moon *et al.*, 2011; Hubbe *et al.*, 2008).

Nanotubos de carbono: Las nanoestructuras de carbono incluyen fullereno, nanotubos de carbono (de pared simple y multi-pared), nanofibras de carbono y nanolaminillas de grafeno han sido ampliamente estudiadas por sus excelentes características físico-químicas, mecánicas y eléctricas (Dresselhaus *et al.*, 1996). En este tipo de materiales se aprovecha el comportamiento alotrópico del carbono. Los nanotubos se han sintetizado usando muchos métodos, entre ellos (Reddy *et al.*, 2013): (i) la descarga de arco, (ii) la ablación mediante láser (iii) deposición química en fase vapor y (iv) alta presión monóxido de carbono, la cual es la más popular. Los nanotubos de carbón tienen varias ventajas: (i) versatilidad como refuerzo en termoplástico y régimen termoestable, (ii) mayor fuerza tensil teórica/experimental (150-180 GPa), módulo de Young (640 GPa a 1 TPa), y (iii) estructuras electrónicas unidimensionales que permiten un transporte de electrones sin dispersarse, además de su compatibilidad con otros compuestos químicos, nanopartículas de metales/óxidos metálicos/chalcogenuros y materiales poliméricos (Baughman *et al.*, 2002; Reddy *et al.*, 2013; Rhim *et al.*, 2013; Thostenson *et al.*, 2001).

Nanoarcillas: Los silicatos en capas también conocidos como nanoarcillas son los nanorellenos más utilizados en la síntesis de nanocompuestos de silicato estratificados polímeros. Estos materiales en capas, los filosilicatos (2:1), se utilizan ampliamente en la preparación de nano-

compuestos a base de arcilla (Reddy *et al.*, 2013). La disposición de cristales en las capas de silicato está formada por dos átomos coordinados tetraédricamente amalgamados a hojas octaédricas compartimentadas en los bordes. Estas láminas se componen de magnesio o hidróxido de aluminio. Las capas tienen el espesor de 1 nm y sus dimensiones tangenciales, los cuales van desde 300 Å hasta algunas micras. La variación en las dimensiones depende de la fuente de arcilla, silicato particulado y técnica de preparación. Estas capas tienen una proporción de aspecto muy alta (longitud/espesor) y área superficial (Majeed *et al.*, 2013). Tienen una carga de superficie moderada asociada con estos silicatos estratificados que se conoce como capacidad de intercambio catiónico (CEC, por sus siglas en inglés). Las nanoarcillas tienen espesor de 1 nm y sus dimensiones tangenciales van desde 300 Å hasta algunas micras. La variación en las dimensiones depende de la fuente de arcilla, silicato particulado y técnica de preparación. Por lo tanto, estas capas tienen una proporción de aspecto muy alta (longitud/espesor) y área superficial (Ray *et al.*, 2006).

Nanorellenos funcionales: Los rellenos nanoestructurados juegan un papel importante en la fabricación de biocompuestos, ya que aportan varias funcionalidades deseadas a los compuestos. Los materiales de relleno funcionales como las nanofibras de celulosa, la hidroxiapatita (HAp), los hidróxidos dobles estratificados (LDH), las nanopartículas de sílice, y los silsequioxanos oligoméricos poliédricos (POSS) son los más investigados (De Azeredo, 2009; Reddy *et al.*, 2013).

Uso de bionanopolímeros

Biodegradación: La biodegradabilidad de los bionanocompuestos es uno de los temas más interesantes y controvertidos (Ray y Bousmina, 2006). Para los polímeros biodegradables, la biodegradación puede significar fragmentación, pérdida de propiedades mecánicas y a veces degradación por microorganismos, tales como bacterias, hongos y algas (Reddy *et al.*, 2013). La biodegradación de los polímeros es un proceso complejo que puede proceder de la hidrólisis catalizada por enzimas y la oxidación (Pandey *et al.*, 2005). Dado que una de las principales razones para utilizar biopolímeros para la preparación de materiales bionanocompuestos es utilizar la biodegradabilidad de la matriz de biopolímero, se espera que la biodegradabilidad de los bionanocompuestos resultantes no se deba sacrificar después de la formación de nanocompuestos (Ray y Bousmina, 2006). La capacidad de cada bionanocompuesto para degradarse depende esencialmente de la composición del bionanocompuesto, de la matriz y del material de relleno (Duncan, 2011; Kumar *et al.*, 2009). Los bionanocompuestos híbridos, tales como los silicatos estratificados incrustados en una matriz polimérica, mejoran la estabilidad y su biodegradabilidad, y pueden ajustarse mediante la variación de la cantidad de disolventes utilizados o mediante la incorporación de diferentes tipos de superficie modificada con diferentes tipos de tenso activos (Ray y Bousmina, 2006). Estas propiedades innovadoras de las nanopartículas pueden ser explotadas en la industria del embalaje en función del uso final (Sorrentino *et al.*, 2007).

Empaques “inteligentes”: Los materiales “inteligentes” que hacen contacto con los alimentos tienen la intención de monitorear las condiciones del alimento empaquetado o del medio que lo rodea (Silvestre *et al.*, 2011). El color de algunos de los empaques puede variar cuando existe un cambio de tipo químico en el alimento y ello permite al consumidor detectar a simple vista si el alimento es adecuado para su consumo (Arshak *et al.*, 2009). Los nano sensores son capaces de responder a los cambios del medio ambiente (temperatura, humedad, niveles de exposición de oxígeno) y degradación por contaminación de microorganismos (Arshak *et al.*, 2007; Duncan, 2011), y pueden además detectar ciertos productos químicos, patógenos y toxinas en alimentos. Son útiles para eliminar la necesidad de indicar las fechas de caducidad, proporcionando un estatus en tiempo real de la frescura del alimento (Velusamy *et al.*, 2010). Varios tipos de sensores sensibles a algunos gases se han empleado para la cuantificación e identificación de microorganismos, dependiendo de sus emisiones de gases (Arshak *et al.*, 2009; Velusamy *et al.*, 2010) y se han desarrollado sensores basados en nanopartículas conductoras incrustadas en una matriz del polímero para detectar e identificar patógenos transmitidos por alimentos, produciendo una respuesta específica (Reddy *et al.*, 2013). Actualmente se pueden identificar al menos *Bacillus cereus*, *Vibrio parahemolyticus* y *Salmonella* spp., a partir de la respuesta producida por este tipo de sensores (Silvestre *et al.*, 2011). El sensor de gas de óxido metálico es uno de los más usados por su alta estabilidad (Setkus, 2002).

Películas y cubiertas antimicrobianas biodegradables:

Las películas y cubiertas o recubrimientos comestibles se definen como capas finas y continuas de material comestible colocadas entre los componentes de los alimentos para proporcionar una barrera a la transferencia de masa (Embuscado y Huber, 2009). La diferencia radica principalmente en el modo de formación y aplicación a los alimentos. Las cubiertas comestibles se aplican y se forman directamente sobre el producto alimenticio, ya sea por adición de una solución de formación de película líquida o por compuestos fundidos (Bourtoom, 2008). Por el contrario, las películas comestibles son estructuras independientes, formadas y luego aplicadas a los alimentos. Se forman por moldeo o por técnicas tradicionales de procesamiento de plástico, tales como extrusión. Las películas comestibles son estructuras independientes, formadas y luego aplicadas a los alimentos (Bourtoom, 2008). Aunque las películas comestibles

se han estudiado y aplicado extensamente, hasta ahora pocos trabajos de investigación indican la posibilidad de incorporar nanopartículas para mejorar las propiedades físicas de estas (De Azeredo, 2009). La función antimicrobiana de algunas nanopartículas o materiales nanocompuestos ha sido reconocida y explotada en el campo de varias industrias por su actividad antimicrobiana como inhibidores del crecimiento, agentes antimicrobianos, portadores antimicrobianos, o bien, películas de embalaje antimicrobiano (Duncan *et al.*, 2011). Los sistemas antimicrobianos a base de nanocompuestos son particularmente eficaces, debido a su alta relación superficie-volumen y mayor reactividad superficial de los agentes antimicrobianos nano-dimensionados, haciéndolos capaces de inactivar los microorganismos de manera más eficiente que sus contrapartes micro o macro escala (Rhim *et al.*, 2013). Los materiales antimicrobianos comúnmente usados o probados para preparar materiales nanocompuestos con función antimicrobiana incluyen iones metálicos (plata, cobre, oro, platino), óxido metálico (TiO₂, ZnO, MgO), nanocapa modificada orgánicamente (MMT modificado con amonio cuaternario, zeolita Ag), biopolímeros naturales (quitosano), agentes antimicrobianos naturales (nisina, timol, carvacrol, isotiocianato, antibióticos), enzimas (peroxidasa, lisozima) y agentes antimicrobianos sintéticos (sales de amonio cuaternario, EDTA, propiónico, benzoico, ácidos sórbico) (Duncan, 2011; Rhim *et al.*, 2013). El mayor potencial para la aplicación de las películas antimicrobianas con bionanocompuestos en alimentos son: carne, pescado, pan, quesos y vegetales (Cruz-Romero *et al.*, 2013; Moreira *et al.*, 2011; Rhim *et al.*, 2013).

Barreras legales y éticas y controversias: La nanotecnología puede aplicarse en todos los aspectos de la cadena alimentaria, tanto para mejorar la inocuidad de los alimentos como para el control de calidad, y como nuevos ingredientes o aditivos alimentarios (Silvestre *et al.*, 2011). Además, tiene un potencial extremadamente alto para beneficiar a la sociedad a través de aplicaciones en envases de alimentos; por ejemplo, se pueden hacer productos más baratos bajo estándares de producción más eficiente, con menos residuos y consumiendo menos energía (Reddy *et al.*, 2013). Sin embargo, cualquier nueva tecnología conlleva una responsabilidad ética para su aplicación, además de saber que existen riesgos imprevistos. Paralelamente a la evolución técnica de las nanotecnologías se prevé que habrá nuevas directrices y reglamentarias para dar cabida a los productos basados en la nanotecnología (Duncan, 2011). En este campo

aún falta realizar estudios para entender las implicaciones y efectos que puedan tener este tipo de productos, tanto en el medio ambiente como en la salud de los consumidores por lo que, aunque es un campo muy prometedor, es necesario complementarlo con estudios de los efectos de su uso y consumo.

LITERATURA CITADA

- Arshak K., Adley C., Moore E., Cuniffe C., Campion M., Harris, J. 2007. Characterisation of polymer nanocomposite sensors for quantification of bacterial cultures. *Sensors and Actuators B: Chemical* 126: 226-231.
- Arshak K., Velusamy V., Korostynska O., Oliwa-Stasiak K., Adley C. 2009. Conducting polymers and their applications to biosensors: emphasizing on foodborne pathogen detection. *IEEE Sensors Journal* 9: 1942-1951.
- Baughman R.H., Zakhidov A.A., De Heer W.A. 2002. Carbon nanotubes—the route toward applications. *Science* 297: 787-792.
- Bourtoom T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15: 237-248.
- Cruz-Romero M.C., Murphy T., Morris M., Cummins E., Kerry J.P. 2013. Antimicrobial activity of chitosan, organic acids and nano-sized solubilises for potential use in smart antimicrobially-active packaging for potential food applications. *Food Control* 34: 393-397.
- De Azeredo H.M. 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Research International* 42: 1240-1253.
- Dresselhaus M.S., Dresselhaus G., Eklund P.C. 1996. *Science of fullerenes and carbon nanotubes: their properties and applications*. Academic press.
- Duncan T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science* 363: 1-24.
- Eichhorn S. J., Dufresne A., Aranguren M., Marcovich N.E., Capadona J.R., Rowan S.J., Gindl W. 2010. Current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. *Journal of Materials Science* 45: 1-33.
- Embuscado M.E., Huber K.C. 2009. *Edible films and coatings for food applications* (pp. 213-214). New York, NY, USA: Springer.
- Hubbe M.A., Rojas O.J., Lucia L.A., Sain M. 2008. Cellulosic nanocomposites: a review. *BioResources* 3: 929-980.
- Kumar A.P., Depan D., Tomer N.S., Singh R.P. 2009. Nanoscale particles for polymer degradation and stabilization-trends and future perspectives. *Progress in Polymer Science* 34: 479-515.
- Majeed, K., Jawaid, M., Hassan, A., Bakar, A. A., Khalil, H. A., Salema, A. A., & Inuwa, I. 2013. Potential materials for food packaging from nanoclay/natural fibres filled hybrid composites. *Materials and Design* 46: 391-410.
- Marsh K., Bugusu B. 2007. Food packaging-roles, materials, and environmental issues. *Journal of Food Science* 72: R39-R55.
- Mihindukulasuriya S.D.F., Lim L.T. 2014. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology* 40: 149-167.
- Moon R.J., Martini A., Nairn J., Simonsen J., Youngblood J. 2011. Cellulose nanomaterials review: structure, properties and nanocomposites. *Chemical Society Reviews* 40: 3941-3994.
- Moreira M.D.R., Pereda M., Marcovich N.E., Roura, S.I. 2011. Antimicrobial effectiveness of bioactive packaging materials from edible chitosan and casein polymers: assessment on carrot, cheese, and salami. *Journal of Food Science* 76 1: M54-M63.
- Pandey J.K., Reddy K.R., Kumar A.P., Singh R. P. 2005. An overview on the degradability of polymer nanocomposites. *Polymer Degradation and Stability* 88: 234-250.
- Ray S.S., Bousmina M. 2005. Biodegradable polymers and their layered silicate nanocomposites: in greening the 21st century materials world. *Progress in Materials Science* 50: 962-1079.
- Ray S., Quek S.Y., Easteal A., Chen X.D. 2006. The potential use of polymer-clay nanocomposites in food packaging. *International Journal of Food Engineering* 2: 1-11.
- Reddy M.M., Vivekanandhan S., Misra M., Bhatia S.K., Mohanty A.K. 2013. Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. *Progress in Polymer Science* 38: 1653-1689.
- Rhim J.W., Park H.M., Ha C.S. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science* 38: 1629-1652.
- Setkus A. 2002. Heterogeneous reaction rate based description of the response kinetics in metal oxide gas sensors. *Sensors and actuators B: Chemical* 87: 346-357.
- Shankar S., Rhim J.W. 2016. Polymer nanocomposites for food packaging applications. *Functional and Physical Properties of Polymer Nanocomposites* 29.
- Silvestre C., Duraccio D., Cimmino S. 2011. Food packaging based on polymer nanomaterials. *Progress in Polymer Science* 36: 1766-1782.
- Siró I., Plackett D. 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: a review. *Cellulose* 17: 459-494.
- Sorrentino A., Gorrasi G., Vittoria V. 2007. Potential perspectives of bio-nanocomposites for food packaging applications. *Trends in Food Science and Technology* 18: 84-95.
- Thostenson E.T., Ren Z., Chou T.W. 2001. Advances in the science and technology of carbon nanotubes and their composites: a review. *Composites science and Technology* 61: 1899-1912.
- Velusamy V., Arshak K., Korostynska O., Oliwa K., Adley, C. 2010. An overview of foodborne pathogen detection: In the perspective of biosensors. *Biotechnology Advances* 28: 232-254.

NANOTECNOLOGÍA EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA. NANOPARTÍCULAS USADAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA CARNE

NANOTECHNOLOGY IN THE FOOD INDUSTRY: NANOPARTICLES USED IN MEAT CONSERVATION

Cruz-Monterrosa, R.G.*; Reséndiz-Cruz, V.; Landa-Salgado, P.; Jiménez-Guzmán, J.; Díaz-Ramírez, M.; Miranda-De La Lama, G.; Rayas-Amor, A.A.; García-Garibay J.M.

Universidad Autónoma Metropolitana. Unidad Lerma. Estado de México. Calle de las Garzas No. 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, México.

***Autor de correspondencia:** r.cruz@correo.ler.uam.mx

RESUMEN

Uno de los principales retos de la industria de la carne es garantizar la sanidad, inocuidad y conservación. Las innovaciones tecnológicas se centran en el uso de inoculantes que detectan o protegen la carne contra agentes patógenos. Las nanopartículas incorporadas a los empaques de la carne actúan como antimicrobianos y antioxidantes, representando una nueva generación en los envasados. Los iones de plata, cobre, oro, zinc, óxidos de metal (TiO_2 , ZnO , MgO), nanoarcillas, biopolímeros naturales, enzimas y agentes antimicrobianos sintéticos son los productos más investigados. Sin embargo, su legislación no está completamente desarrollada y la aceptación por los consumidores y costos de producción se deben considerar. Estos rubros quizás puedan compensarse con reducciones en el desperdicio de la carne, debido a la mejora de la calidad y la vida útil del producto. Se presenta una revisión de nanopartículas incorporadas a la carne para preservar su calidad e inocuidad principalmente.

Palabras clave: industria alimentaria, nanoenvases, antimicrobianos, antioxidantes

ABSTRACT

One of the main challenges of the meat industry is to guarantee salubriousness, innocuousness, and conservation. The technological innovations are centered on the use of inoculants that detect or protect the meat against pathogenic agents. The nanoparticles incorporated into the meat packages act like antimicrobial and antioxidant agents, representing a new generation in packaging. The silver, copper, gold, zinc ions, metal oxides (TiO_2 , ZnO , MgO), nanoclays, natural biopolymers, enzymes, and synthetic antimicrobial agents are the products most frequently researched. However, their legislation is not completely developed and the acceptance by consumers and production costs must be considered. These segments may be able to be compensated, with reductions in meat waste, due to improvement in the quality and shelf life of the product. A revision of nanoparticles incorporated into meat to preserve primarily their quality and innocuousness is presented.

Keywords: Food industry, nanopackaging, antimicrobial, antioxidant.

INTRODUCCIÓN

La industria de la carne se enfrenta cada día a nuevos retos de acuerdo con los requerimientos del consumidor; uno de los principales es la garantía en su sanidad, inocuidad y conservación, ya que es susceptible al deterioro por sus cualidades nutricionales, haciéndolo un alimento ideal para el desarrollo de microrganismos (Ercolini *et al.*, 2006; Villada *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2009). Por ello, es necesario buscar medidas innovadoras que permiten obtener un producto inocuo y en buen estado; una de ellas, y la más factible, son los empaques, los cuales tienen como función prioritaria la preservación y protección de la carne con la finalidad de mantener la calidad durante el almacenamiento y transporte para retrasar el deterioro y extender la vida útil (Villada *et al.*, 2007; Jong *et al.*, 2013; Inbaraj y Chen, 2016). En relación con lo anterior, las innovaciones tecnológicas que actualmente están surgiendo es la liberación programada de inoculantes que detectan o protegen la carne contra agentes patógenos (Xu *et al.*, 2013). La nanotecnología estudia el diseño de nanopartículas incorporadas en los empaques de la carne para actuar como antimicrobianos y antioxidantes (Foladori e Invernizzi, 2008). La utilización de esta tecnología se facilita con el uso de los nanocompuestos de matriz polimérica (Jong *et al.*, 2013); sin embargo, actualmente existe mucha incertidumbre con respecto a la utilización de nanopartículas en los empaques de la carne por situaciones de legislación, migración al alimento y miedo a afectar la salud por parte de las industrias y consumidores. La vida útil se define como el período de tiempo entre el envasado de un producto y su uso final, mientras que se mantengan las propiedades de la carne aceptable para el consumidor (Lorenzo y Gómez, 2012). Uno de los retos que enfrentan las empresas y los productores de la industria alimentaria es lograr una vida útil adecuada para sus productos, manteniendo la calidad óptima (nutricional, organoléptica) y la seguridad del alimento, al momento de que el consumidor compre el producto. Las propiedades de la vida útil de la carne incluyen la apariencia, textura, sabor, color y valor nutritivo (Lorenzo y Gómez, 2012). Sin embargo, el alto contenido de agua y abundancia de nutrientes en su superficie hace que sea uno de los alimentos más perecederos, provocando un deterioro en periodos cortos (Ercolini *et al.*, 2006; Villada *et al.*, 2007; Vásquez *et al.*, 2009). Por ello, uno de los principales factores que limitan la vida útil es el crecimiento de microorganismos (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). El deterioro se caracteriza por cambios en el alimento que

lo hace inaceptable para el consumidor desde el punto de vista sensorial. Este causa daños físicos y químicos, tales como oxidación, cambios de color, presencia de malos sabores y olores, y crecimiento y metabolismo microbiano en el producto (Gram *et al.*, 2002). El deterioro de la carne no siempre es evidente; los consumidores notan este cambio cuando pueden apreciar una decoloración brusca, y cambio de apariencia o mal olor, que son criterios cualitativos para rechazar un producto cárnico. En general, el deterioro es un juicio subjetivo por parte del consumidor que puede estar influenciada por consideraciones culturales y económicas, así como por la agudeza sensorial de la persona y la intensidad del cambio (Nychas *et al.*, 2008). Para lograr un tiempo de conservación óptimo para los alimentos, el sector alimenticio explora continuamente diferentes tecnologías de formulación y elaboración de empaques (Mihindukulasuriya y Lim, 2014).

Los empaques en la vida de anaquel de la carne

Los envases o empaques tienen como función prioritaria la preservación y protección del alimento, con la finalidad de mantener la calidad y seguridad durante el almacenamiento y transporte, para retrasar el deterioro y extender la vida útil. Las nuevas tecnologías de conservación en la carne son debido a las demandas de los consumidores y a tendencias de producción industrial. El desarrollo de empaques activos o inteligentes ofrece la perspectiva de monitorear los cambios en el producto y responder adecuadamente a dichos cambios a través de un mecanismo de retroalimentación. Para ello será necesario el desarrollo de nuevas tecnologías; por ejemplo, sistemas electrónicos impresos con sensores o dispositivos que permiten la liberación o absorción de sustancias (Restuccia *et al.*, 2010; Vanderroost *et al.*, 2014). El envase activo es una extensión de la vida útil en la carne, mantiene su calidad (Taik, 2010) y está diseñado con un componente que permite la liberación o absorción de sustancias, tales como oxígeno, dióxido de carbono, etileno, humedad, antioxidante y antimicrobianos; así como olores y sabores. El propósito de los envases inteligentes es proporcionar información mediante el monitoreo sobre la frescura de la carne a través de los cambios que sufre el producto. Las sustancias responsables de la activación o función de los envases inteligentes puede estar contenido en un recipiente separado en una bolsita de papel, o las sustancias pueden ser directamente incorporadas en el material del empaque. Existen tres tecnologías principales para la realización de envases inteligentes: sensores, indicadores, e identificación

(Restuccia *et al.*, 2010; Camacho *et al.*, 2011; Vanderroost *et al.*, 2014). El sistema de envasado activo debe ser dirigido a la mejora de la calidad y la extensión de la vida útil de los alimentos, y se puede clasificar en tres conceptos: la incorporación directa de las sustancias activas en la película de envasado; películas comestibles y recubrimiento con sustancias bioactivas, e incorporación de sustancias activas en una bolsita, parche o tableta. Los más comunes y prometedores son los sistemas antimicrobianos de envasado, de eliminación de O₂, y de control de la humedad, que ofrecen importantes beneficios a la industria de la carne. A continuación se explican en detalle:

Incorporación directa de las sustancias activas en la película de envasado: se pueden integrar agentes antimicrobianos, dado que la industria de la carne ha tratado de utilizar diferentes sistemas de conservación para reducir al mínimo el riesgo de intoxicación y el deterioro.

Películas comestibles y recubrimiento con sustancias bioactivas: en películas comestibles, diversos aditivos alimentarios, tales como conservadores, antioxidantes y condimentos, se pueden utilizar para mejorar la calidad y la vida útil de los alimentos. Entre los materiales utilizados para formar películas comestibles está el quitosano, considerado uno de los más prometedores, debido a su capacidad para formar película, biodegradabilidad, biocompatibilidad y no tóxica (Shavisi *et al.*, 2017). Otro es el ácido poli-láctico, el cual es un bio-plástico producido de la polimerización del ácido láctico y aprobado por la US Food and Drug Administration (USDA); su uso en el empaque de carne es acepta-

do por su transparencia, degradabilidad y nula toxicidad. Su impregnación con nanopartículas de celulosa y aceite de *Ziziphora clinopodioides* han prolongado la vida de anaquel en carne de bovino (Shavisi *et al.*, 2017).

Incorporación de sustancias activas en una bolsita, parche o tableta: la atmósfera ambiental dentro del envase se puede cambiar mediante la incorporación de sustancias activas en el empaque utilizando una bolsita, parche o tableta. Las principales tecnologías para mejorar la calidad y la vida útil de los productos cárnicos son eliminación de O₂, generadores de CO₂ y controladores de humedad (Taik, 2010).

La nanoencapsulación

De las innovaciones tecnológicas que están surgiendo actualmente para hacer frente a la inocuidad y seguridad alimentaria, con la finalidad de poder extender la vida útil de los productos, está la encapsulación, la cual se refiere a pequeñas partículas o gotitas que rodean una capa funcional (Xu *et al.*, 2013). Actualmente existen en el mercado diversos ingredientes activos nanoencapsulados (colocación de ingredientes activos dentro de capsulas nanoscópicas); por ejemplo, vitaminas, conservadores y ácidos grasos que se utilizan para el procesamiento y la conservación de bebidas, carnes y quesos. A muchos alimentos se les agregan nanopartículas deliberadamente, con el fin de mejorar sus propiedades de color y estabilidad durante el procesamiento, o bien, aumentar el tiempo de conservación (Foladori e Invernizzi, 2008). Las nanopartículas (1 a 100 nm) se están estudiando en procesos de envasado de la carne y se relacionan con aspectos mi-

crobiológicos, sensores y películas del empaque (Siegrist *et al.*, 2007; Duncan, 2011; Inbaraj y Chen 2016). La innovación promete opciones de actividades antimicrobianas, superficies antifúngicas, detección de señalización microbiológica y cambios bioquímicos. Los desarrollos más prometedores lanzados en el mercado hasta la fecha son susceptibles de mejorar la calidad y la vida útil de la carne y productos cárnicos de manera significativa mediante la mejora de las propiedades de barrera con la incorporación de nanocompuestos bioactivos en o sobre la película (nanocompuesto) (Taik, 2010). Sin lugar a dudas es el área más activa de investigación alimentaria por el hecho de que el consumidor está más dispuesto a aceptar la nanotecnología sin que esté estrechamente relacionada con los alimentos que consume.

Nano-empaques: es vital realizar un empaque adecuado de la carne para que se garantice la seguridad alimentaria y la vida útil. El interés de la mejora en los empaques en los últimos años ha ido en aumento, de tal forma que se puedan satisfacer las demandas del producto y los consumidores; por ello, una posible solución es la incorporación de nanopartículas en materiales del empaque "nano envasado de alimentos" (Jong *et al.*, 2013). Dado que uno de los fines principales es lograr un tiempo de conservación más largo a través de la mejora de las funciones de barrera del material utilizado, a fin de reducir el intercambio de gases y humedad, y la exposición a los rayos ultravioletas por mencionar algunos, la mejora de la película de envasado (barrera) se puede diseñar con nanomateriales que permitan la liberación de agentes antimicrobianos,

antioxidantes, enzimas y sabores (Foladori e Invernizzi, 2008). La utilización de esta innovadora tecnología puede ser conveniente y factible debido a que los nanocompuestos se incorporan en la matriz polimérica, como se mencionó en el capítulo anterior, la cual ocupa una amplia área superficial del empaque y mayor reactividad de la superficie del agente antimicrobiano con tamaño nanométrico, teniendo la capacidad de inactivar los microorganismos (Jong *et al.*, 2013). La incorporación de nanopartículas con propiedades antimicrobianas representa una nueva generación en los envases de la carne, basados en nanocompuestos con propiedades antimicrobianas; estos incluyen iones de plata, cobre, oro, zinc, óxidos de metal (TiO_2 , ZnO , MgO), nanoarcilla orgánicamente modificada (amonio cuaternario modificado MMT, Ag-zeolita), biopolímeros naturales (quitosano), agentes antimicrobianos naturales (nisina, timol, carvacrol, isotiocianato, antibióticos), enzimas (peroxidasa, lisozima) y agentes antimicrobianos sintéticos (amonio cuaternario sales, EDTA, propiónico, benzoico, ácidos sórbico) (Jong *et al.*, 2013; Chellaram *et al.*, 2014; Panea *et al.*, 2014), de los cuales a continuación se detallan algunos principales:

Plata: La plata tiene una amplia actividad antimicrobiana; es tóxica a numerosas cepas de bacterias, hongos, algas y, posiblemente, a algunos virus (Duncan, 2011). Varios estudios han demostrado la actividad antimicrobiana de las nanopartículas de plata que son eficaces contra bacterias Gram-positivas y negativas (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Actualmente es el metal utilizado más comúnmente en los productos de consumo, tal como el envasado de la carne, ya que partículas de plata de tamaño nanométrico se están inmovilizando en polímeros de envasado de alimentos denominadas nanopartículas. Su utilización se debe a su propiedad eléctrica y catalítica, así como a su estabilidad térmica, aunque el efecto antimicrobiano es la propiedad que tiene más relevancia en mejorar la vida útil de la carne. Los iones de plata (nanopartículas) pueden penetrar en las membranas exterior e interior de la célula, alterando sus componentes de barrera, como los lipopolisacáridos y proteínas. También interactúan con los componentes citoplasmáticos y ácidos nucleicos, lo que altera la actividad enzimática (procesos de activación de la replicación del ADN y proteínas celulares) después de la quelatación, causando cambios estructurales y la alteración de las paredes celulares en la membrana de las bacterias, interrumpiendo con ello los procesos metabólicos y finalizando en muerte celular (Carbone *et al.*, 2016). Las nanopartículas de plata inhiben las enzimas de la cadena respiratoria y dificultan la penetración de protones y fosfato a través de la membrana y reducción de los niveles de ATP. Además de estas funciones inhibitorias, la alta actividad catalítica de las nanopartículas puede producir especies reactivas de oxígeno, resultando en estrés oxidativo y condiciones tóxicas dentro de las células microbianas; sin embargo, una desventaja es la incertidumbre por parte de los expertos acerca de si las partículas de plata pueden migrar desde el material de empaque a la carne (Siegrist *et al.*, 2007; Llorens *et al.*, 2012; Jong *et al.*, 2013; Mihindukulasuriya y Lim, 2014), aunque un estudio menciona que las nanopartículas de plata se pueden elaborar de rutas verdes (sin daño ambiental), utilizando dosis de $5.3 \text{ ngAgNPs g}^{-1}$ carne en la película, sin provocar daños a la salud humana e inhibiendo el crecimiento de bacterias ácido lácticas por 30 días (Grecco *et al.*, 2017).

La plata puede ser integrada en materiales inertes, tales como la zeolita, silicato y arcilla. La zeolita de plata (Ag-zeolita) es producida por la sustitución de los iones Na^+ en la zeolita con iones Ag^+ ; es uno de los agentes antimicrobianos más ampliamente utilizados, ya que es de amplio espectro antimicrobiano, eliminando bacterias, levaduras, y micelios, pero no así las esporas de las bacterias resistentes al calor. El Ag-zeolita incorporado a la película de quitosano ha mostrado fuerte actividad antimicrobiana contra las bacterias Gram-positivas y negativas. También se han producido nanocompuestos de silicato de plata, utilizando un proceso de pirólisis de aspersión por llama e incorporado en poliestireno. Este complejo mostró buena actividad antibacteriana contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus*. Un enfoque sintético verde para la preparación de nanopartículas de plata antimicrobiano ha sugerido, mediante el uso de hidratos de carbono a partir de sacarosa, almidón de maíz ceroso y soluble (*Zea mays* L.). Los hidratos de carbono actúan como agentes reductores y estabilizantes, y también como una plantilla para la realización de las nanopartículas de plata con una excelente actividad antibacteriana. Nanopartículas de quitosano cargadas con Ag^+ , Cu^{2+} , Zn^{2+} y Mn^{2+} mostraron actividad antimicrobiana contra *E. coli*, *Salmonella choleraesuis* y *S. aureus* (Jong *et al.*, 2013).

Óxidos de metal: El TiO_2 , ZnO y MgO también han sido explotados para la preparación de películas de envasado antimicrobianos debido a su fuerte actividad antimicrobiana. Esencialmente estos óxidos metálicos se utilizan como fotocatalizadores que derivan de actividad

catalítica mediante la absorción de energía de una fuente de luz. Cuando el fotocatalizador se aplica con radiación ultravioleta, las especies de oxígeno altamente reactivas se generan y causan actividad antimicrobiana (Jong *et al.*, 2013). La viabilidad del óxido de zinc (ZnO) incorporado en nanocompuestos poliméricos destinados para el envasado de alimentos, distribuida en películas de quitosano (Llorens *et al.*, 2012) o películas de polietileno en una proporción 50/50, pueden prevenir el crecimiento de *E. Coli* (Marcous *et al.*, 2017). El uso de ZnO en el sistema de envasado es debido a su factible incorporación, por ser considerado seguro para la FDA. El uso de la película activa basada en alginato de calcio con nanopartículas de ZnO fue eficaz contra las bacterias de *S. aureus* y *S. typhimurium*. Se observó que las nanopartículas de ZnO interactúan con las bacterias con el paso del tiempo (10 días de período de incubación) y reduce su número en la carne de pollo. Los materiales del envasado permiten la difusión gradual de los antimicrobianos incorporados en la superficie de la carne empacada (Akbar y Kumar, 2014). Existen estudios donde se han evaluado las propiedades antibacterianas y físicas del policloruro de vinilo (PVC) recubierto con película a base de nanopartículas de ZnO, registrando mejor actividad antibacteriana contra *E. coli* y *Staphylococcus aureus*, en comparación con las películas no tratadas, por lo que la película de PVC recubierto con nano-partículas de ZnO tiene un buen potencial para ser utilizado como un sistema de recubrimiento activo para el envasado de alimentos (Li *et al.*, 2010). Las nanopartículas de ZnO producen radicales hidroxilo, superóxidos y peróxidos de hidrogeno en presencia

de humedad que reacciona con la superficie celular de las bacterias y causa daño al contenido celular a nivel de proteína, lípidos y ADN (Akbar y Kumar, 2014). La utilización de la nanopartículas puede afectar la calidad de la carne, especialmente su color y la oxidación de grasas (problemas de sabor). Panea *et al.* (2014) estudiaron la combinación de nanopartículas de ZnO+Ag en el envasado para ver el potencial antimicrobiano y su influencia en la vida de anaquel, así como también la calidad de la carne de pollo (pechuga), reportando que la adición de nanopartículas retrasó el deterioro y oxidación de la carne; afectando ligeramente los atributos sensoriales. La producción industrial de embutidos y carnes curadas requiere del agregado de numerosos aditivos para acelerar el proceso de producción como la estabilización del color y mejora del sabor. Por ello, la compañía alemana Aquanova desarrolló un sistema portador nanotecnológico que consiste en micelas de 30 nm en las que se encapsulan ingredientes activos como vitaminas C, E y ácidos grasos que pueden emplearse como conservadores y coadyuvantes de elaboración. Tal es el caso de las salchichas, como una solución para el curado de carne y la estabilización del color. Aquanova comercializa sus micelas con el nombre de "NovaSol". La revista industrial alemana "*Fleischwirtschaft*" asegura que NovaSol ofrece ventajas significativas para las empresas procesadoras de carne. Acelera los tiempos de procesamiento; reduce los costos de los insumos, logra mayor estabilidad en el color del producto y está disponible en presentación líquida lista para usarse (Foladori y Invernizzi, 2008).

Nano-sensores: Los sensores químicos han recibido cada vez más atención en los dos últimos años para monitorear la calidad del alimento y la integridad del envase (Vanderroost *et al.*, 2014). Los dispositivos que se utilizan para detectar la cantidad física de las sustancias se convierten en señales legibles observadas. El uso de sensores inteligentes es beneficioso para los consumidores y productores en términos de mejorar la identificación de la calidad y rápida distribución (Chellaram *et al.*, 2014; Vanderroost *et al.*, 2014). El indicador o sensor fabricado con la nanotecnología adecuada puede interactuar con factores internos (componentes de los alimentos y espacio del empaque) o ambientales externos. Como resultado de esta interacción, el sensor genera una respuesta (señal visual o señal eléctrica) que se correlaciona con el estado del alimento. La información que genera no solo es útil para la comunicación con los consumidores, al informarles acerca de la seguridad y calidad de los productos, sino que también pueden ser utilizados para los productores en sus sistemas de apoyo para la toma de decisiones en el canal de distribución del producto y el proceso de producción (Chellaram *et al.*, 2014; Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Los productos frescos o las carnes presentan características que pueden ser fácilmente distinguidas por los consumidores (Charles *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2008; Troy y Kerry, 2010). Sin embargo, cuando los materiales de envasado impiden una amplia exposición sensorial, los consumidores deben confiar en las fechas de caducidad, que son determinadas por los productores sobre la base de un conjunto de suposiciones idealizadas sobre la forma en que el alimento se almacena o transporta, mientras que la fecha de caducidad para un cartón de leche puede indicar a un consumidor que el producto debe ser bueno para un período de dos semanas. Esta fecha ya no puede ser aplicable si la leche se almacenó por encima de su temperatura óptima durante una hora; lo mismo

sucedría para cualquier alimento como la carne. Por ello, a través de la ingeniería, los nanomateriales pueden ser ideados para que sean capaces de detectar la presencia de gases, aromas, contaminantes químicos y patógenos. Esto no solo es útil para el control de la calidad, en lo que respecta a garantizar a los consumidores que pueden comprar productos que están en su punto ideal de frescura y sabor, sino también tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria y reducir la frecuencia de las enfermedades transmitidas por los alimentos. Los nano-sensores tienen el potencial de revolucionar la velocidad y la precisión con la que las industrias o los organismos reguladores pueden detectar la presencia de contaminantes moleculares o adulterantes en matrices alimentarias complejas.

Electrónica impresa: Es una tecnología actualmente emergente y relativamente nueva que se espera revolucione la producción de dispositivos electrónicos (etiquetas, pantallas, sensores, baterías.) Esta tecnología se da sobre sustratos flexibles (poliimida, PEEK, PET, poliéster conductor transparente, acero e incluso papel), utilizando tintas eléctricamente funcionales. El mercado de dispositivos flexibles (electrónica impresa) está creciendo rápidamente; en 2011 se estimaba en más de USD\$ 2 mil millones y un aumento en el mercado de USD\$ 45 mil millones para 2021 (Vanderroost *et al.*, 2014).

Detector de oxígeno: Una de las medidas que se deben tomar para mantener una calidad higiénica de la carne es la regulación de la permeabilidad de los gases como el oxígeno. En el envase de atmósfera modificada, la concentración de oxígeno en la parte superior del empaque se reduce a menudo a un nivel óptimo o eliminándolo totalmente, dependiendo del tipo de producto para extender la vida útil. Con el fin de validarlo se utiliza un indicador de oxígeno, el cual activa el UV que se fabrica utilizando nanopartículas de TiO_2 , dado que la entrada de oxígeno en paquete de alimentos puede conducir a una reducción de vida útil del producto, ya que diversas reacciones de degradación (rancidez, crecimiento de microorganismos aerobios, color, sabor) inducen pérdida de nutrientes (agotamiento de vitaminas) (Taik, 2010; Flores *et al.*, 2011; Jong *et al.*, 2013; Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Por ello, actualmente se están ideando métodos de detección basados con nanosensores; por ejemplo, una tinta prometidora fotoactivada para la detección de oxígeno en paquetes de carne sobre la base de tamaño nanométrico de partículas de TiO_2 o SnO_2 y un tinte (azul de metile-

no) redox-activo; este detector cambia gradualmente de color en respuesta incluso a cantidades mínimas de oxígeno (Duncan, 2011).

Detector de aminos y bacterias: estos indicadores de frescura proporcionan información en tiempo real al productor, distribuidor y consumidor sobre la calidad del producto durante el almacenamiento y distribución, y se basan en la detección de compuestos de descomposición y metabolitos microbianos, producido en un producto en mal estado, tales como las aminos (Mihindukulasuriya y Lim, 2014), que se usan como un indicador del deterioro de la carne y, por lo tanto, de la calidad (Tamim y Doerr, 2003). Los métodos de detección biológica se basan en pruebas inmunológicas por las interacciones selectivas antígeno-anticuerpo. Una técnica conocida como separación inmunomagnética utiliza partículas magnéticas unidas a anticuerpos selectivos en combinación con un imán, para separar selectivamente el analito a partir de la matriz del alimento, es decir, partículas magnéticas a nanoescala. Por ejemplo, la unión de anticuerpos selectivos para *L. monocytogenes* en las nanopartículas magnéticas de óxido de hierro se utilizan para separar eficientemente las bacterias de la leche contaminada y detectarlos mediante análisis de PCR en tiempo real. Un enfoque similar se ha utilizado para aislar *E. coli* en carne de vacuno recién molida, con más de 94 % de eficiencia de captura y sin interferencia de otras especies bacterianas. Sin embargo, la mayor parte del trabajo en nanosensores o ensayos para analitos relacionados con los alimentos es evaluar dosis óptimas para prevenir daños colaterales y signos de toxicidad en humanos (Carbone *et al.*, 2016).

Nano-antioxidantes: Existen estudios donde se ha evaluado la eficacia de la actividad antioxidante *in vitro* del β -caroteno y ácido α -lipoico en conjugación con un lípido encapsulado. Esta actividad fue determinada por la actividad captadora de radicales en estado libre. Cabe señalar que la nano emulsión se preparó y liofilizó para obtener nanocápsulas de un tamaño de partícula de 320.8 ± 1.48 nm para el ácido α -lipoico y 210.5 ± 1.23 nm para el β -caroteno, teniendo como conclusión que la utilidad de la adición de antioxidantes durante la encapsulación y que la actividad de eliminación de radicales fue directamente proporcional a la concentración del antioxidante (Sen y Ghosh, 2012). Por ello, la nanotecnología puede ser buena alternativa para evitar la auto-oxidación de ácidos grasos poliinsaturados de algunos alimentos (Xu *et al.*, 2013).

Perspectivas y preocupaciones de los nanoencapsulados en los alimentos

Legislación: Este aspecto aún no está completamente desarrollada en el uso de nanopartículas (Llorens *et al.*, 2012). La ley de regulación europea señala que es necesario investigar la migración global de compuestos de envases activos e inteligentes para la comida. Los niveles máximos de las nanopartículas que se pueden presentar en la comida son establecidos por la ley europea y las regulaciones de la FDA; sin embargo, las metodologías inequívocas para detectar y cuantificar la migración de nanomateriales en envases actualmente es limitada y no hay regulación (Mihindukulasuriya y Lim, 2014).

Migración hacia el alimento: La nanotecnología ocupa un espacio entre la evolución de materiales de envasados activos e inteligentes. Sin embargo, su uso en los alimentos ha sido motivo de preocupación, debido al riesgo de que los nanomateriales pudieran ser perjudiciales para la salud. Es decir, que los componentes de tamaño nanométrico migren hacia la comida y potencialmente puedan dar lugar a efectos adversos (Taik, 2010; Jong *et al.*, 2013; Panea *et al.*, 2014). Los estudios han puesto de manifiesto que algunas nanopartículas pueden provocar daños intracelulares, vascular e inflamación pulmonar (Mihindukulasuriya y Lim, 2014). Al respecto, existe incertidumbre sobre la evaluación de los riesgos de los nanomateriales, debido a poca información y base de datos sobre la toxicidad de los nanomateriales y su exposición a los consumidores. Un estudio llevado a cabo en el Laboratorio Central de Ciencias en el Reino Unido reporta que no se

detectó migración de los componentes de las nanopartículas de arcilla de envases de PETP (Taik, 2010). Es necesaria más investigación con respecto a la migración de los nanocompuestos en los envases destinados al alimento y que se consideren las regulaciones de los riesgos potenciales asociados a la nano-dimensiones y la posible migración en los alimentos o bebidas (Llorens *et al.*, 2012).

Aceptación por parte de los consumidores: La aceptación de los consumidores a nuevas tecnologías de conservación se debe tener en cuenta. Esto debido a que ellos pueden tener cierto rechazo y aceptación de las nuevas nanotecnologías, a pesar de que pueden ayudar a mejorar la seguridad y calidad de los productos alimenticios.

Rentabilidad: El otro problema asociado al desarrollo biotecnológico en el sistema de envases inteligentes y activos es la rentabilidad, dado que la incorporación de nanocompuestos a los envases probablemente aumente el costo por empaque, especialmente durante la primera fase de introducción del producto. El margen de beneficio de los alimentos es relativamente bajo en comparación con otros productos de consumo. El costo total de los envases debe ser de 10 % del costo del producto. Por lo tanto, la adaptación de la nanotecnología debe basarse en una adecuada relación costo-beneficio para justificar su aplicación (Restuccia *et al.*, 2010). El uso de esta tecnología probablemente sea restringida para la pequeña y medianas empresas por representar un costo más, sin embargo, los aumentos en costos de producción pueden compensarse con las reducciones en el desperdicio, debido a la mejora de la calidad y vida útil del producto (Taik, 2010).

CONCLUSIONES

La biotecnología en alargar la vida útil de la carne puede ser una herramienta para superar los retos que se presentarán en el futuro de la industria alimentaria. Sin embargo, el campo más estudiado y aceptado por el consumidor, debido a que los nanocompuestos no están en contacto directo al alimento, son los empaques, pero la información en relación con la migración de los nanocompuestos hacia el alimento y sus efectos en la salud del consumidor aun es escasa, por lo que es necesario seguir investigando.

LITERATURA CITADA

- Akbar A., Kumar A.A. 2014. Zinc oxide nanoparticles loaded active packaging, a challenge study against *Salmonella typhimurium* and *Staphylococcus aureus* in ready-to-eat poultry meat. *Food Control*, 38: 88-95.
- Camacho M.E., Vega B.J., Campos G.A. 2011. Uso de nanomateriales en polímeros para la obtención de bioempaques en aplicaciones alimentarias. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 77: 292-306.
- Carbone M., Tommasa D.D., Sabbatella G., Antiochia R. 2016. Silver nanoparticles in polymeric matrices for fresh food packaging. Review. *Journal of King Saud University Science* 28: 273-279.
- Charles N., Williams S.K., Rodrick G.E. 2006. Effects of Packaging Systems on the Natural Microflora and Acceptability of Chicken Breast Meat. *Poultry Science* 85: 1798-1801.
- Chellaram C., Murugaboopathi G., Johna A.A., Sivakumar R., Ganesan S., Krithika S., Priya G. 2014. Significance of Nanotechnology in Food Industry. *APCBEE Procedia*, 8: 109-113.

- Duncan T.V. 2011. Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *Journal of Colloid and Interface Science*. 363: 1-24.
- Ercolini D., Russo F., Torrieri E., Masi P., Villani F. 2006. Changes in the Spoilage-Related Microbiota of Beef during Refrigerated Storage under Different Packaging Conditions. *Applied and Environmental Microbiology* 72: 4663-467.
- Foladori G., Invernizzi N. 2008. Nanotecnologías en la Alimentación y Agricultura. Universidad de la República de Montevideo, Uruguay.
- García M.J.A. 2010. Tendencias en la Investigación en Ciencia de la Carne. *NACAMEH*. 4: 512-521.
- Gram L., Ravn L., Rasch M., Bartholin B. J., Christensen A B., Givskov M. 2002. Food spoilage-interactions between food spoilage bacteria. *International Journal of Food Microbiology* 78: 79-97.
- Grecco M.N., Jorge M.I., Cristine K.K, Franco L.G., de Oliveira PA., Aparecida D.A., Bracht, L.O., Gonçalves, H., Vitória L.F. 2017. Migration evaluation of silver nanoparticles from antimicrobial edible coating to sausages. *LWT. Food Science and Technology* 76B: 203-228.
- Inbaraj B.S., Chen, B.H. 2016. Nanomaterial-based sensors for detection of foodborne bacterial pathogens and toxins as well as pork adulteration in meat products. *Journal of Food and Drug Analysis* 24: 15-28.
- Jong W.R., Hwan M.P., Chang S.H. 2013. Bio-nanocomposites for food packaging applications. *Progress in Polymer Science*, 38: 1629-1652.
- Li X.H., Xing Y.G., Li W.L., Jiang Y.H., Ding Y.L. 2010. Antibacterial and physical properties of poly (vinyl chloride)-based film coated with ZnO nanoparticles. *Food Science and Technology International* 16: 225-232.
- Lorenzo J.M., Gómez M. 2012. Shelf life of fresh foal meat under MAP, overwrap and vacuum packaging conditions. *Meat Science* 92: 610-618.
- Llorens A., Lloret E., Picouet P.A., Trbojevič R., Fernandez A. 2012. Metallic-based micro and nanocomposites in food contact materials and active food packaging. *Trends in Food Science and Technology*, 24: 19-29.
- Marcous A., Rasouli S., Ardestani F. 2017. Low-density polyethylene films loaded by titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles as a new active packaging system against *Escherichia coli* O157:H7 in fresh calf minced meat. *Pack. Technol. Sci.* 10.1002/pts.
- Mihindukulasuriya S.D.F., Lim L.T. 2014. Nanotechnology development in food packaging: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 40: 149-167.
- Nychas G.J.E., Skandamis P.N., Tassou C.C., Koutsoumanis K.P. 2008. Meat spoilage during distribution. *Meat Science*, 78: 77- 89.
- Panea B., Ripoll G., González J., Fernández C.A., Alberti P. 2014. Effect of nanocomposite packaging containing different proportions of ZnO and Ag on chicken breast meat quality. *Journal of Food Engineering* 123: 104-112.
- Restuccia D., Spizzirri U.G., Parisi O.I., Cirillo G., Curcio M., Lemma F., Puoci F., Vinci G., Picci N. 2010. New EU regulation aspects and global market of active and intelligent packaging for food industry applications. *Food Control* 21: 1425 -1435.
- Shavisi N., Khanjari A., Akhondzadeh B.A., Misaghi A., Shahbazi Y. 2017. Effect of PLA films containing propolis ethanolic extract, cellulose nanoparticle and *Ziziphora clinopodioides* essential oil on chemical, microbial and sensory properties of minced beef. *Meat Science* 124: 95-104.
- Sánchez E. A., Torrecano U. G. R., Camou A. J. P., González M. N. F., Hernández W. G. 2008. Sistemas combinados de conservación para prolongar la vida útil de la carne y los productos cárnicos. *NACAMEH* 2: 124-159.
- Sen G. S., Ghosh M. 2012. *In vitro* study of anti-oxidative effects of β -carotene and α -lipoic acid for nanocapsulated lipids. *LWT-Food Science and Technology*. 49: 131-138.
- Siegrist M., Cousin M.E., Kastenholz H., Wied A. 2007. Public acceptance of nanotechnology foods and food packaging: The influence of affect and trust. *Appetite* 49: 459-466.
- Tamin N.M., Doerr J.A. 2003. Effect of Putrefaction of Poultry Carcasses Prior to Rendering on Biogenic Amine Production. *Poultry Science* 12: 456-460.
- Troy D.J., Kerry J.P. 2010. Consumer perception and the role of science in the meat industry. *Meat Science* 86: 214-226.
- Vanderroost M., Ragaerta P., Devlieghere F., De Meulenae B. 2014. Intelligent food packaging: The next generation. *Trends in Food Science and Technology*, 39: 47-62.
- Vásquez M.S.M., Suárez M.H., Montoya O.I. 2009. Evaluación de bacteriocinas como medio protector para la biopreservación de la carne bajo refrigeración. *Revista Chilena de Nutrición*, 36: 228-238.
- Villada S.H., Acosta H.A., Velasco R.J. 2007. Biopolímeros naturales usados en empaques biodegradables. *Temas Agrarios* 12: 5-13.
- Xu J., Zhao W., Ning Y., Bashari M., Wu F., Chen H., Yang N. Jin Z., Xu B., Zhang L., Xu X. 2013. Improved stability and controlled release of ω 3/ ω 6 polyunsaturated fatty acids by spring dextrin encapsulation. *Carbohydrate Polymers* 92: 1633-1640.

PERFIL DE LOS ÁCIDOS GRASOS Y SUS MODIFICACIONES EN LA CALIDAD DE LA CARNE DE LOS BOVINOS

PROFILE OF FATTY ACIDS AND THEIR MODIFICATIONS IN THE QUALITY OF BOVINE MEAT

Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Ramírez-Mella, M.²; Lira-Casas, R.³; Ramírez-Briebesca, E.^{4*}

¹Departamento de Ciencias de la Alimentación. Universidad Autónoma Metropolitana. Av. de las Garzas No. 10. Col. El Panteón Lerma de Villada. Edo. de México. CP. 52005. ²CONACyT-Colegio De Postgraduados. Campus Campeche. Carretera Haltunchén-Edzná km 17.5, Sihochac, Municipio de Champotón, Campeche. C. P. 24450. ³Facultad de Medicina Veterinaria. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Carretera Tecamachalco-Cañada Morelos Km. 7.5, El Salado, Tecamachalco, Puebla. CP. 75460. ⁴Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Km. 36.5, Texcoco 5, México - Texcoco, Montecillo, Edo. México. CP. 56230.

*Autor de correspondencia: efrenrb@colpos.mx

RESUMEN

El desafío de los investigadores en alimentos es mejorar la calidad de los lípidos que se integran en la carne con la finalidad de que el consumidor reduzca la ingesta de grasas saturadas como un factor de calidad de vida. Para lograr este objetivo es necesario conocer los diferentes factores que influyen en la producción ganadera. La genética y expresión de genes son líneas interesantes de investigación que tratan de explicar cómo la genómica puede beneficiar la calidad de la grasa en los adipocitos. También hay varios factores extrínsecos; quizás el más importante es la alimentación y adición de algunos nutrientes en específico. Sin embargo, el problema no es tan sencillo como parece; se deben involucrar factores de estudio con modelos de simulación y análisis físico-químicos y sensoriales que resuelvan el problema. Se realizó una descripción de algunos factores que se asocian con la calidad de los lípidos en la carne que pueden estar regulados principalmente por la raza o grupo genético de ganado, género, nutrición y sistemas de producción.

Palabras clave: salud, consumo de carne, grasas, calidad, inocuidad

ABSTRACT

The challenge for food researchers is to improve the quality of the lipids that are integrated in meat, with the purpose of the consumer reducing the intake of saturated fats, as a factor in life quality. To achieve this objective, it is necessary to understand the different factors that influence livestock production. Genetics and gene expression are interesting lines of research, which attempt to explain how genomics can benefit the quality of the fat in adipocytes. There are also several extrinsic factors, perhaps the most important one being the diet and addition of some specific nutrients. However, the problem is not as simple as it seems, and study factors with simulation models as well as physical-chemical and sensory analyses that solve the problem should be involved. A description of some factors that are associated with the quality of the meat lipids, which can be regulated primarily by the livestock breed or genetic group, genus, nutrition and production systems, was carried out.

Keywords: health, meat consumption, fats, quality, innocuousness.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 47-53.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el incremento en la producción y el mejoramiento en la calidad de la carne es un nuevo desafío para el sector agropecuario. En 2030 la población humana se incrementará a ocho billones y el consumo per cápita de carne aumentará en los países en vías de desarrollo a una tasa de 2.1 % (FAO, 2015). En México, el consumo de carne de res es de 8.59 kg año⁻¹ y la carne de ovinos y caprinos es de 0.52 kg año⁻¹ (OECD-FAO, 2017). Por lo tanto, la ganadería en México no satisface las demandas de la población y, por esta razón, se realizan importaciones de productos cárnicos, aun cuando existen núcleos de organizaciones ganaderas que están exportando carne a países asiáticos. La producción pecuaria en México tiene muchas carencias que limitan su eficiencia; es claro que se necesitan más programas de crías, mejoramiento genético, administración, manejo de los agostaderos, cartografía para definir áreas ganaderas, cultivos para un uso eficiente de los subproductos agropecuarios y la aplicación de las normas de bienestar animal e inocuidad de los productos cárnicos. Independientemente de los factores ya citados se debe mejorar la calidad nutritiva de la carne; por ejemplo, la tendencia mundial de consumo reducido en grasas como un factor de calidad que el cliente pide a nivel nacional e internacional (Hathwar y Rai, 2012). Por su demanda y calidad, la carne debe ser brillante, jugosa, tierna, con bajo contenido en colesterol y alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados (AGPI) y monoinsaturados (AGMI) (Hathwar y Rai, 2012). Para lograr este objetivo es indispensable explorar posibilidades genéticas y nutricionales. Investigaciones de este nivel, desplazarán la carne contaminada con hormonas o clenbuterol, lo cual no es nuevo (a pesar de las normas existentes), (Sánchez y Albarracín, 2010). El objetivo de esta revisión describe algunos factores que se asocian con la calidad de los lípidos en la carne. Estos son regulados principalmente por la raza o grupo genético (Rotta *et al.*, 2009a), el género (Padre *et al.*, 2007), la nutrición (Prado *et al.*, 2008a) y los sistemas de producción (Aricetti *et al.*, 2008).

Efecto genético-genómico

La canal, la conformación, longitud, el área del músculo *Longissimus*, color, textura y grado de marmoleo tienen un índice intermedio de heredabilidad (0.4 %), y en el caso de la composición y acumulación de grasa perirrenal y de cobertura tiene el más alto índice de heredabilidad (0.6%) (Prado *et al.*, 2009). Los mecanismos lipogenómicos y fisiológicos no están claramente conocidos; hay información sobre la expresión de genes en los rumiantes y es una línea interesante de investigación que trata de explicar la genómica con el contenido de los ácidos grasos presentes en los adipocitos. Por ejemplo, la cantidad de ácidos grasos monoinsaturados de la carne puede ser regulada por la expresión genética de la esteroil coenzima A desaturasa. Dicho gen codifica para la síntesis de la $\Delta 9$ desaturasa, enzima responsable de convertir los ácidos grasos saturados en monoinsaturados y de formar ácido linoleico conjugado (ALC) a partir de ácido vaccénico. Gotoh *et al.* (2009) mencionan que el contenido de grasa intramuscular de las razas europeas de ganado bovino (Belgain Blue, German Angus y Holstein-Friesian) es significativamente menor que la Japanese Black (<5 % vs >20%, respectivamente) y, debido a ello, la carne de dicha raza es utilizada en la cocina tradicional japonesa. Otros genes que hasta ahora han sido identificados son: a) Gen polimorfis-

mo intrón del elemento regulador de uniones de esteroides de ácidos grasos monoinsaturados-proteína 1 (SREBP-1); b) Gen polimorfismo genético de steroyl-CoA desaturasa (SCD); c) Gen intrón polimorfismo del elemento regulador de esteroides de unión AGMI proteína-1 (SREBP-1), c) Gen de marcador genético adicional de unión de adipocitos de ácidos grasos proteína 4 (FABP4) y receptor de hígado X; y d) SCD y FABP4 que regulan específicamente la composición de ácidos grasos en novillos Holstein (Mannen, 2011).

La variabilidad genética presenta diferencias entre las especies y razas (Perotto *et al.*, 2000). Entre las razas las diferencias pueden ser influenciadas por la segregación de los genes principales; por ejemplo, el de doble musculatura en el ganado. No es fácil evaluar la verdadera contribución de la genética a las diferencias de calidad de la carne (Webb, 2006); generalmente puede haber efectos confundidos por otros efectos intrínsecos, tal como el peso vivo, la edad de matanza y el sistema de producción (Webb, 2006). Sin embargo, hay varios factores que influyen en el perfil de las características en la canal, la composición química y el contenido de ácidos grasos en el ganado. Los grupos genéticos y el género (Padre *et al.*, 2007) son algunas de las razones por las variaciones en la calidad de la carne. En este caso, la heterosis mejora el rendimiento de la canal caliente; por tal motivo, se busca obtener cruces de cebuinos con algunas razas europeas, ya que la raza pura tienen una conformación irregular (Prado *et al.*, 2008b). El rango de la grasa subcutánea es de 2.70 a 5.10 mm, mientras que el marmoleo es una característica determinante en algunos países como

Estados Unidos de América, Japón y China, los cuales prefieren carne con alto grado de marmoleo, que oscila entre 4.13 a 7.78 puntos; los grupos genéticos de razas europeas comparados con las cebuinas tienen las puntuaciones más altas.

El porcentaje de lípidos totales entre las razas presenta alta variación; cambia hasta 170 % entre los grupos genéticos, mientras que los cambios porcentuales en el contenido de proteína son menores, de alrededor de 9 % (entre 22.8 % y 24.9 %) (Prado *et al.*, 2008a). Los niveles de lípidos totales en el músculo *Longissimus* en corrales de engorda es de 3 % (Rotta *et al.*, 2009a); por ejemplo, los animales de grupos genéticos Nelore×Angus (3.91%) presentan mayor valor que las cruza de Charolais×Caracu (1.45%). Los lípidos totales en el músculo *Longissimus* de ganado varían de 2 % a 5 % (Prado *et al.*, 2008a; Rotta *et al.*, 2009b). El ganado de origen británico presenta carne mejor vetada que los de raza cebuina, quizás porque tienen menos grasa y más tejido conectivo (Moreira *et al.*, 2003).

En la composición de los ácidos grasos, ya sea en músculo o grasa (Cuadro 1), la variación entre los grupos genéticos de origen brasileño es de 60 % en los C: 12:0, 14:0 y 16:0 (Rotta *et al.*, 2009a); estos son hipercolesterolémicos y son los responsables del aumento de la cantidad de lipoproteínas de baja densidad-LDL (lipoproteína de baja densidad) en los humanos. El grupo genético de cruce Nelore×Raza Continental presentó los niveles más bajos a estos ácidos grasos (Rotta *et al.*, 2009b).

El ácido graso 18: 3 n-3 se considera esencial; tiene la capacidad de formar otros importantes (Wood *et al.*, 2003). El mayor contenido lo presenta Charolais×Caracu (0,73%). Los AGPI tiene una variación de 4 % a 11 %; los cebuinos tienen mayor contenido de ácidos grasos poliinsaturados (Rotta *et al.*, 2009b), quizás por el mayor depósito de tejido conjuntivo (Prado *et al.*, 2008b). El colesterol total presenta una variación de 55 %, debido a los grupos genéticos, y cambia entre 34.1 a 52.9 mg 100 g⁻¹ en músculo *Longissimus* (Prado *et al.*, 2008a). Prado *et al.* (2009) mencionan que los cebuinos tienen mayor concentración de colesterol total en el músculo *Longissimus*, tal vez debido a un aumento en las membranas musculares.

Desarrollo de la adiposidad

Durante los procesos fisiológicos de adiposidad en los bovinos se presenta la hipertrofia e hiperplasia. La primera se asocia al mayor tamaño y la segunda a un número más alto de adipocitos (Du y Domson, 2011), distribuyéndose los lípidos de los adipocitos en tres proporciones (Figura 1). La hiperplasia es controlada por hormonas y factores de crecimiento similares a insulina de tipo I y II (IGF-I e IGF-II), las formas ácida y básica del factor de crecimiento fibroblástico (aFGF y bFGF) y el de necrosis tumoral (TNF- α) (González-Gallardo *et al.*, 2008). Los procesos de lipogénesis y maduración lipídica varían con el genotipo, sexo, edad, régimen o suministro de alimento y el efecto fisiológico que puede tener el organismo de un individuo. Sin embargo, el genotipo parece ser más determinante que las otras variables antes citadas.

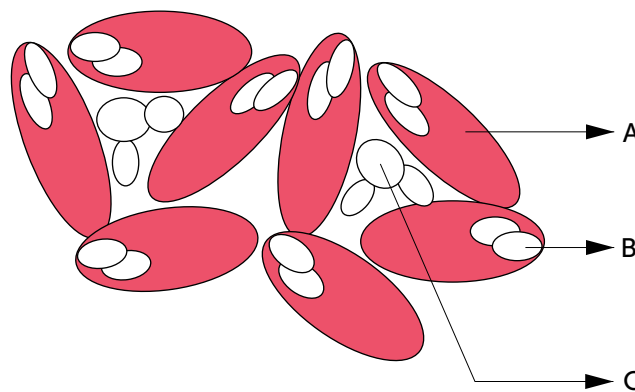


Figura 1. Representación esquemática de: A: Lípidos entre la fibra muscular, B: Lípidos intramiocelulares, C: Lípidos extramiocelulares (Gao y Zhao, 2009).

Algunos trabajos realizados entre novillos Holstein y Herford, Friesian y Charolais, Angus, cruza de Wagyu y razas españolas (Lee *et al.*, 2000; Alzón *et al.*, 2007) indican diferencias fisiológicas en los adipocitos.

Formación y función fisiológica de los ácidos grasos que se depositan en la carne

La grasa contenida en la carne de los rumiantes está compuesta por cerca de 50 % de ácido oleico (C18:1, es un monoinsaturado de 18 carbonos, cuyo doble enlace se encuentra en el noveno carbono), y de 35 % a 40 % de saturados, que incluyen al mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) y esteárico (C18:0). El resto se conforma de otros monoinsaturados, poliinsaturados y *trans*, como el ALC y el vaccénico (Smith *et al.*, 2009). El contenido de estos en el músculo (carne) y en la grasa de cobertura presenta diferencias entre las especies (Cuadro 1).

El ALC posee propiedades anticancerígenas y antiaterogénicas, mientras que el vaccénico puede transformarse en ALC en diversos tejidos como músculo y tejido adiposo (McAfee *et al.*, 2010). Existen dos tipos de ácidos grasos. Los *trans*, producidos a través de un proceso industrial de hidrogenación de

aceites vegetales para la fabricación de margarina y grasas para repostería y frituras, y los que se producen de manera natural a través de un proceso de biohidrogenación de ácidos grasos insaturados por acción de las bacterias presentes en el rumen. La diferencia entre los ácidos grasos trans producidos por los microorganismos del rumen y por hidrogenación industrial radica en varios puntos. Uno de ellos es que solo la biohidrogenación ruminal de ácidos grasos poliinsaturados formará dobles enlaces trans entre los carbonos 11 al 18, mientras que la hidrogenación industrial lo hará entre los cinco al 13. Además, hasta 20% de los ácidos grasos trans de la grasa de los rumiantes está como trans 16:1, y este ácido graso junto con el ácido butírico (C4:0) están presentes únicamente en la grasa de rumiantes (Stender *et al.*, 2008).

Las bacterias ruminales son las responsables de formar ALC (un ácido graso trans de 18 carbonos) y ácidos grasos monoinsaturados, a partir de poliinsaturados presentes en la dieta, principalmente linoleico (C18:2) y linolénico (C18:3). *Butyrivibrio fibrisolvens* es la bacteria ruminal que favorece la formación del isómero de ALC *cis9, trans11*, mientras que *Megasphaera elsdenii* forma el *trans10, cis12*. En la Figura 2 se muestra la ruta metabólica de la biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados en el rumen. La formación de cada uno de los isómeros mencionados depende principalmente del tipo de dieta que consume el rumiante; sin embargo, el mayoritario es el *cis9, trans11*, seguido de *trans10, cis12*. En el caso de los rumiantes de carne, especialmente de bovinos en finalización, el *trans10, cis12* se incrementa debido a elevadas cantidades de concentrado en la dieta, así como por el uso de aceites poliinsaturados; no obstante,

Cuadro 1. Composición de grasa y ácidos grasos en filete de lomo de bovino, cordero y cerdo (Enser *et al.*, 1996).

Grasa	Bovino	Cordero	Cerdo
	15.6	30.2	21.1
Músculo, %			
16:0 palmítico	25.0	22.2	23.2
18:0 esteárico	13.4	18.1	12.2
18:1 n-9 oleico	36.1	32.5	32.8
18:2 n-6 linoleico	2.4	2.7	14.2
18:3 n-3 α -linolénico	0.70	1.37	0.95
20:4 n-6 araquidónico	0.63	0.64	2.21
20:5 n-3 EPA	0.28	0.45	0.31
22:6 n-3 DHA	0.05	0.15	0.39
Ácidos grasos totales	3.8	4.9	2.2
P:S	0.11	0.15	0.58
n-6:n-3	2.11	1.32	7.22
Grasa, % de ácidos grasos			
16:0 palmítico	26.1	21.9	23.9
18:0 esteárico	12.2	22.6	12.8
18:1 n-9 oleico	35.3	28.7	35.8
18:2 n-6 linoleico	1.1	1.3	14.3
18:3 n-3 α -linolénico	0.48	0.97	1.43
C20-C22 n-3 AGPI	ND	ND	0.36

cis9, trans11 es el predominante (Kramer *et al.*, 2004). Otros microorganismos ruminales, como protozoarios y hongos, también juegan un papel importante en la formación y transporte de ALC. De acuerdo con Jenkins *et al.* (2008), aunque los hongos ruminales constituyen una mínima parte de la biomasa microbiana del rumen, contribuyen en la formación de ALC a partir de ácido linoleico, mientras que los protozoarios, que conforman hasta la mitad de la biomasa microbiana, no producen ALC, pero

contienen un elevado contenido de lípidos, de los cuales 8 % es ácido vaccénico y 3 % ALC, aproximadamente. Por ello, los protozoarios son importantes para el flujo de ALC y ácido vaccénico hacia el intestino delgado donde pueden estar disponibles para el hospedero y depositarse en los tejidos.

Independientemente de las condiciones del rumen, el primer paso consiste en la isomerización de los ácidos grasos poliinsaturados, cambiando la configuración de uno de los dobles enlaces, de *cis* (c) a *trans* (t). Posteriormente, sigue la biohidrogenación, que consiste en "eliminar" los dobles enlaces de la cadena del ácido graso.

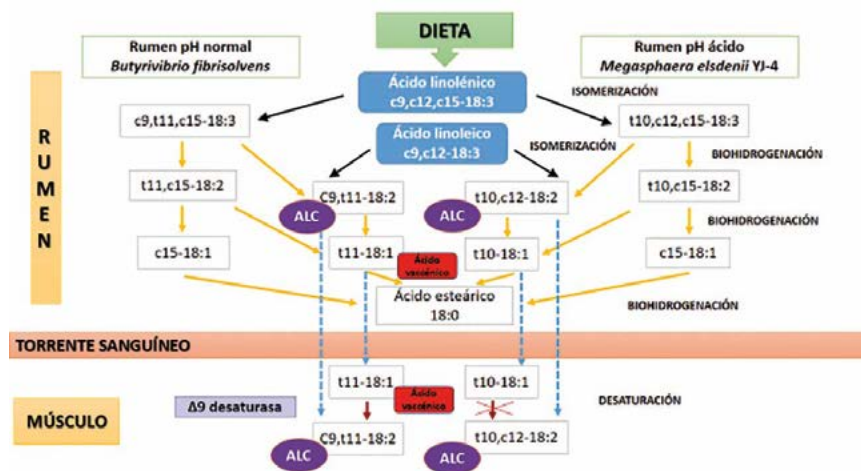


Figura 2. Biohidrogenación de ácidos grasos poliinsaturados por bacterias ruminales (modificado por Kramer *et al.* 2004).

En condiciones ruminales “normales”, con un pH cercano al neutro, se favorece el crecimiento de bacterias que producen el isómero *cis9*, *trans11* del ALC, mientras que en condiciones de acidosis predominarán bacterias que produzcan el *trans10*, *cis12* del ALC.

Los diversos intermediarios que se forman durante el proceso de biohidrogenación pueden seguir dos rutas: seguir biohidrogenándose hasta formar ácido esteárico o escapar de la biohidrogenación y llegar a torrente sanguíneo para depositarse en diversos tejidos como el adiposo y muscular. El ácido vaccénico puede transformarse en ALC en los tejidos del rumiante por acción de la $\Delta 9$ desaturasa. Fuente: modificado de Kramer *et al.* (2004).

Está de moda satanizar los radicales libres; sin embargo, estos cumplen con funciones específicas en el organismo. Fisiológicamente controlan la maduración de los espermatozoides, la capacitación y la hiperactivación, la reacción del acrosoma (AR) y la fusión entre el espermatozoide y el ovocito (Kothari *et al.*, 2010); además, destruyen microorganismos patógenos con la acción de las células fagocitarias, tales como los macrófagos y peroxisomas que coadyuvan a la oxidación, hidroxilación y peroxidación en el metabolismo de los nutrientes, así como el acortamiento de ácidos grasos. La cadena respiratoria que se lleva a cabo en las mitocondrias adquiere una función importante en la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como parte del proceso de la generación de energía (Lobo *et al.*, 2010). Sin embargo, cuando la cantidad presente en el organismo supera los rangos normales se presentan enfermedades

graves causando envejecimiento, peroxidación lipídica (LPO), daño al ADN, apoptosis (Kang *et al.*, 2012) y carne rancia, por efecto de la oxidación de los lípidos que contiene (Kothari *et al.*, 2010).

Alimentación y contenido de ácidos grasos en la carne

Uno de los factores extrínsecos, como la alimentación y adición de algunos nutrientes en específico, influyen en la composición de la grasa de la carne de los bovinos. Específicamente, la energía de la dieta tiene efectos importantes en el rendimiento, la cantidad y calidad de grasa; adicionalmente, la interacción de los minerales y vitaminas también participan en el color y la presencia de antioxidantes. Hay evidencias de que el ganado finalizado con dietas altas en concentrado posee una carne con mayor contenido de ácidos grasos monoinsaturados que aquella de animales en pastoreo o alimentados con elevadas cantidades de forraje, en los cuales se incrementa el contenido de los saturados. Por ello, los rumiantes alimentados con mayores cantidades de granos tendrán mejor nivel de marmoleo (Smith *et al.*, 2009). No obstante, el contenido ALC y vaccénico es mayor en animales alimentados en pastoreo, e incluso el de omega-3, como el eicosapentaenoico (C20:5), docosapentaenoico (C22:5) y docosahexaenoico (C22:6), se incrementan considerablemente en aquellos bajo régimen de pastoreo (Daley *et al.*, 2010).

Los principales objetivos de incluir grasas o aceites en las dietas de los rumiantes tienen dos finalidades. La primera, mejorar el valor energético de la dieta integral, y la segunda, proporcionar una cantidad idónea de AGPI que no sean biohidroge-

nados y mejoren su disponibilidad en los tejidos muscular y adiposo. El límite máximo de lípidos en la dieta no debe de ser mayor de 6 %. Una alta concentración disminuye la digestibilidad intestinal de los lípidos (menor a 80 %), afecta la digestibilidad de la fibra y baja el consumo. Los aceites con alto contenido de ácidos grasos mono-poli-insaturados pueden beneficiar la formación del ALC y ácidos grasos n-3, principalmente como el A-linolénico (18:3n-3) en el músculo y tejido adiposo (Montgomery *et al.* 2008, He *et al.*, 2012). La susceptibilidad de la carne a la oxidación depende principalmente del contenido de los poliinsaturados en las membranas celulares; este es el punto de inicio en la oxidación lipídica de la carne (Mir *et al.*, 2004, Daly *et al.*, 2007). Por tal motivo, altos contenidos de aceites en la dieta, por ejemplo de linaza, influyen en los atributos de la calidad de la carne, incluyendo las tasas de oxidación de sabor y lípidos. Los aromas están relacionados en parte con el potencial oxidativo del tejido, la composición de ácidos grasos y la presencia de anti y pro-oxidantes en el músculo (Nassu *et al.*, 2011). Así, si se incluye 10 % de semilla de linaza molida en la dieta de novillos, la intensidad del sabor desagradable en el filete aumenta (LaBrune *et al.*, 2008). Los ácidos grasos poliinsaturados son muy susceptibles a la oxidación durante la cocción y se correlacionan negativamente con los índices de sabor sensorial de la carne, y disminuye la aceptación de los productos cárnicos por parte del consumidor. En conclusión, a este punto resulta necesario mejorar la proporción de los ácidos grasos mono-poli-insaturados en la grasa muscular, pero es necesario conocer el umbral máximo para evitar resultados negativos de la carne

durante el consumo; se requiere que los trabajos de investigación se fortalezcan con pruebas bioquímicas y sensoriales.

Celularidad de adipocitos en rumiantes: consideraciones bajo modelo experimental

Existen trabajos de investigación donde se estudia la diferenciación *in vitro* de pre-adipocitos de tejido adiposo bovino (González-Gallardo *et al.*, 2008) y la utilización de líneas celulares de adipocitos para evaluar ciertos nutrientes *in vitro*. Un modelo experimental puede plantearse con tratamientos entre razas, efectos de fármacos o suplementos integrados en la dieta que influyen directamente en la fisiología de los adipocitos. La metodología general se puede plantear con la extracción de adipocitos a través de biopsias o durante la matanza de los rumiantes cuando son destinados para el abasto. Los adipocitos aislados se obtienen de los depósitos omentales, perirenal, tejido adiposo subcutáneo e intermuscular. Se determinan pruebas de a) tamaño de los adipocitos a través de digestiones húmedas con colagenasa y digitalización de imágenes en software; b) el número de adipocitos se calcula con los valores medios del volumen de los adipocitos, la cantidad de lípidos de la grasa y la densidad lipídica (relación de la cantidad de tejido adiposo y el de lípidos en el tejido adiposo); c) estudio de la actividad enzimática lipogénica a través de los enzimas glicerol 3 fosfato deshidrogenasa (G3PDH, sintetasa de ácidos grasos (FAS), glucosa 6 fosfato deshidrogenasa (G6PHD) y NADP-Isocitrato deshidrogenasa (ICDH), las cuales indican la síntesis *ново* y el poder reductor de los ácidos grasos en el interior del adipocito; y d) el análisis de la composición de los ácidos grasos (de la grasa), considerando en importancia la cantidad de ácidos grasos poliinsaturados de tipo ω -3 (Kouba y Mourot, 2011).

CONCLUSIÓN

Definir la carne ideal es subjetivo, sin embargo, las tendencias de consumo reducido en grasas es un factor de calidad que la sociedad pide a nivel nacional e internacional. Nuevas formas de lograr este objetivo es implementar modelos experimentales donde se incluyan modelos matemáticos (simulación) que puedan predecir la respuesta de los parámetros productivos y calidad de la grasa. Modelos físicos o mecánicos, que indiquen las características fisicoquímicas de la carne, grasa, y modelos biológicos donde se incluyan pruebas *in vitro* (degradación, cultivos celulares (aislamiento de adipocitos) e *in situ*, de tal forma que en

conjunto puedan generar información que en el futuro indicará la mejor calidad de la carne y grasa destinada al consumo humano.

LITERATURA CITADA

- Alzón M., Mendizabal J.A., Arana A., Alberti, P., Purroy, A. 2007. Adipocyte cellularity in different adipose depots in bulls of seven Spanish breeds slaughtered at two body weights. *Animal* 1: 261-7.
- Aricetti J.A., Rotta P.P., Martin R., Perotto D. 2008. Carcass Characteristics, Chemical Composition and Fatty Acid Profile of Longissimus Muscle of Bulls and Steers Finished in a Pasture System Bulls and Steers Finished in Pasture Systems. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 21: 258-268.
- Daley C.A., Abbott A., Doyle P.S., Nader G.A., Larson S. 2010. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. *Nutrition Journal* 9: 1-12.
- Daly C.M., Moloney A.P., Monahan F.J. 2007. Lipid and colour stability of beef from grazing heifers supplemented with sunflower oil alone or with fish oil. *Meat Science* 77: 634-642.
- Du M., Domson V.M. 2011. Advanced techniques to enhance marbling in meat. *Control Meat Quality* 105-115.
- Enser M., Hallett K., Hewitt B., Fursey G.A.J., Wood J.D. 1996. Fatty acid content and composition of English beef, lamb and pork at retail. *Meat Sci.* 42, 443-456.
- FAO. 2015. World Agriculture: Towards 2015/2030. An FAO perspective. Livestock Production. <http://www.fao.org/docrep/005/y4252e/y4252e07.htm#TopOfPage>
- Gao S.Z., Zhao S.M. 2009. Physiology, affecting factors and strategies for control of pig meat intramuscular fat. *Recent Patents on Food Nutrition and Agriculture* 1: 59-74.
- González-Gallardo A., Varela-echavarría A., Shimada-Miyasaka A. 2008. Diferenciación *in vitro* de preadipocitos de tejido adiposo bovino *In vitro* differentiation of preadipocytes from bovine adipose tissue. *Técnica Pecuaria en México* 46: 195-204.
- Gotoh T., Albrecht E., Teuscher F., Kawabata K., Sakashita K., Iwamoto H., Wegner J. 2009. Differences in muscle and fat accretion in Japanese Black and European cattle. *Meat Science* 82: 300-308.
- Hathwar S.C., Rai A.K. 2012. Characteristics and consumer acceptance of healthier meat and meat product formulations-a review. *Journal Food Science and Technology* 49: 653-664.
- He M.L., McAllister T.A., Kastelic J.P., Mir P.S., Aalhus J.L., Dugan M.E.R., Aldai N., McKinnon J.J. 2012. Feeding flaxseed in grass hay and barley silage diets to beef cows increases alpha-linolenic acid and its biohydrogenation intermediates in subcutaneous fat. *Journal of Animal Science* 90: 592-604.
- Jenkins T.C., Wallace R.J., Moate P.J., Mosley E.E. 2008. Recent advances in biohydrogenation of unsaturated fatty acids within the rumen microbial ecosystem. *Journal of Animal Science* 86: 397-412.
- Kang M.A., So E., Simons A.L., Ouchi T. 2012. DNA damage induces reactive oxygen species generation through the H2AX-Nox1 / Rac1 pathway. *Cell Death and Disease* 3: 1-8.
- Kothari S., Thompson A., Agarwal A., Plessis S.S.D. 2010. Free-radicals: Their beneficial and detrimental effects on sperm function. *Indian Journal Experimental and Biology* 78: 1700-8.
- Kouba M., Mourot J. 2011. A review of nutritional effects on fat composition of animal products with special emphasis on n-3 polyunsaturated fatty acids. *Biochimie*.

- Kramer J.K.G., Cruz-Hernández C., Deng Z., Zhou J., Jahreis G., Dugan M.E.R. 2004. Analysis of conjugated linoleic acid and trans 18:1 isomers in synthetic and animal products. *American Journal of Clinical Nutrition* 79(suppl.) 1137S.
- LaBrune H.J., C.D. Reinhardt M.E. Dikeman, J.S. Drouillard. 2008. Effects of grain processing and dietary lipid source on performance, carcass characteristics, plasma fatty acids, and sensory properties of steaks from finishing cattle. *Journal of Animal Science* 86:167-172.
- Lee H.J., Lee S.C., Kim D.W., Park J.G., In K.H. 2000. Cellularity of adipose tissue obtained from different sex and growth stages of hanwoo cattle and sheep. *Asian-Australasian Journal of Animal Science* 13: 155-160.
- Lobo V., Patil A., Phatak A., Chandra N. 2010. Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Review* 4: 118-126.
- Luciano G., Pauselli M., Servili M., Mourvaki E., Serra A., Monahan F.J., Lanza M., Priolo A., Zinnai A., Mele M. 2013. Dietary olive cake reduces the oxidation of lipids, including cholesterol, in lamb meat enriched in polyunsaturated fatty acids. *Meat Science* 93: 703-714.
- Mannen H. 2011. Identification and utilization of genes associated with beef qualities. *Animal Science Journal* 82: 1-7.
- McAfee A.J., McSorley E.M., Cuskelly G.J., Moss B.W., Wallace J.M.N., Bonham M.P., Fearon A.M. 2010. Red meat consumption: an overview of the risks and benefits. *Meat Science*, 84: 1-13.
- Mir P. S., McAllister T.A., Scott S., Aalhus J., Baron V., McCartney D., Charmley E., Goonewardene L., Basarab J., Okine E., Weselake R. J. Mir Z. 2004. Conjugated linoleic acid enriched beef production. *American Journal and Clinical Nutrition* 79: 1207-1211
- Montgomery S.P., Drouillard J.S., Nagaraja T.G., Titgemeyer E. C., Sindt J.J. 2008. Effects of supplemental fat source on nutrient digestion and ruminal fermentation in steers. *Journal of Animal Science* 86: 640-650.
- Moreira, F.B., Souza, N.E. De, Matsushita, M., Nunes, I., 2003. Evaluation of Carcass Characteristics and Meat Chemical Composition of *Bos indicus* and *Bos indicus* × *Bos taurus* Crossbred Steers Finished in Pasture Systems. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 46: 609-616.
- Nassu, R. T., Dugan, M. E. R., He, M. L., McAllister, T. A., Aalhus, J. L., Aldai, N. and Kramer, J. K. G. 2011. The effects of feeding flaxseed to beef cows given forage based diets on fatty acids of longissimus thoracis muscle and backfat. *Meat Science* 89: 469-477.
- OECD-FAO, 2017. OECD-FAO Agricultural Outlook 2016-2025 [WWW Document]. OECD Publ. y FAO. URL http://stats.oecd.org/Index.aspx?datasetcode=HIGH_AGLINK_2016# (accessed 8.30.17).
- Padre, G., Aparecida, J., Terezinha, S., Gomes, M., Henrique, R., Buschinelli, D.T., Goes, D., 2007. Analysis of fatty acids in *Longissimus* muscle of steers of different genetic breeds finished in pasture systems. *Livestock Science* 110: 57-63.
- Prado, I.N., Ito, R.H., Prado, J.M., Prado, I.M., Rotta, P.P., Matsushita, M., Visentainer, J.V., Silva, R.R., 2008a. The influence of dietary soyabean and linseed on the chemical composition and fatty acid profile of the *Longissimus* muscle of feedlot-finished bulls. *Journal of Animal and Feed Science* 17: 307-317.
- Prado, I.N., Prado, R.M., Rotta, P.P., Visentainer, J.V., Moletta, J.L., Perotto, D., 2008b. Carcass characteristics and chemical composition of the *Longissimus* muscle of crossbred bulls (*Bos taurus indicus* vs *Bos taurus taurus*) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Science* 17: 295-306.
- Prado, R.M., Prado, I.N., Marques, J.A., Rotta, P.P., 2009. Meat quality of the *Longissimus* muscle of bulls and steers (½ Nellore vs ½ Simmental) finished in feedlot. *Journal of Animal and Feed Science* 18: 221-230.
- Perotto, D., Moletta, J.L., Oliveira, J.E.P. de, Lesskiu, C., 2000. Consumo e Conversão Alimentar de Machos Bovinos Inteiros Charolês, Caracu e Cruzamentos Recíprocos em Confinamento. *Revista Brasileira Zootecnia* 29: 108-116.
- Rotta, P.P., Martin, R., Nunes, I., Valero, M.V., 2009a. The Effects of Genetic Groups, Nutrition, Finishing Systems and Gender of Brazilian Cattle on Carcass Characteristics and Beef Composition and Appearance: A Review. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 22: 1718-1734.
- Rotta, P.P., Nunes, I., Martin, R., 2009b. Carcass Characteristics and Chemical Composition of the *Longissimus* Muscle of Nellore, Caracu and Holstein-friesian Bulls Finished in a Feedlot. *Asian Australasian Journal of Animal Science* 22: 598-604.
- Sánchez, I.C., Albarracín, W., 2010. Análisis sensorial en carne. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias* 23: 227-239.
- Smith S.B., Gill C.A., Lunt D.K., and Brooks M.A. 2009. Regulation of fat and fatty acid composition in beef cattle. *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, 22: 1225.
- Stender S., Astrup A., and Dyerberg J. 2008. Ruminant and industrially produced trans fatty acids: health aspects. *Food and Nutrition Research* 52: 1651.
- Webb, E.C., 2006. Manipulating beef quality through feeding. *Forum American Association* 7: 5-15.
- Wood, J.D., Richardson, R.I., Nute, G.R., Fisher, A. V, Campo, M.M., Kasapidou, E., Sheard, P.R., Enser, M., 2003. Effects of fatty acids on meat quality: a review. *Meat Sci.* 66: 21-32.



PROPIEDADES QUÍMICAS DE MO, FE Y CIC DEL SUELO MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ANÁLISIS DE IMÁGENES

CHEMICAL PROPERTIES OF MO, FE AND CIC OF THE SOIL THROUGH ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND IMAGE ANALYSIS

Landeta-Escamilla, O.¹; Sandoval-González, O.O.¹; Martínez-Sibaja A.^{1*}; Posada-Gómez R.¹; Alvarado-Lassman, A.¹; Quevedo-Garay, F.¹; Herrera-Aguilar, I.¹; Flores-Cuautle, J.J.A.

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz, México. C.P. 94320.

*Autor de correspondencia: amartinez@ito-depi.edu.mx

RESUMEN

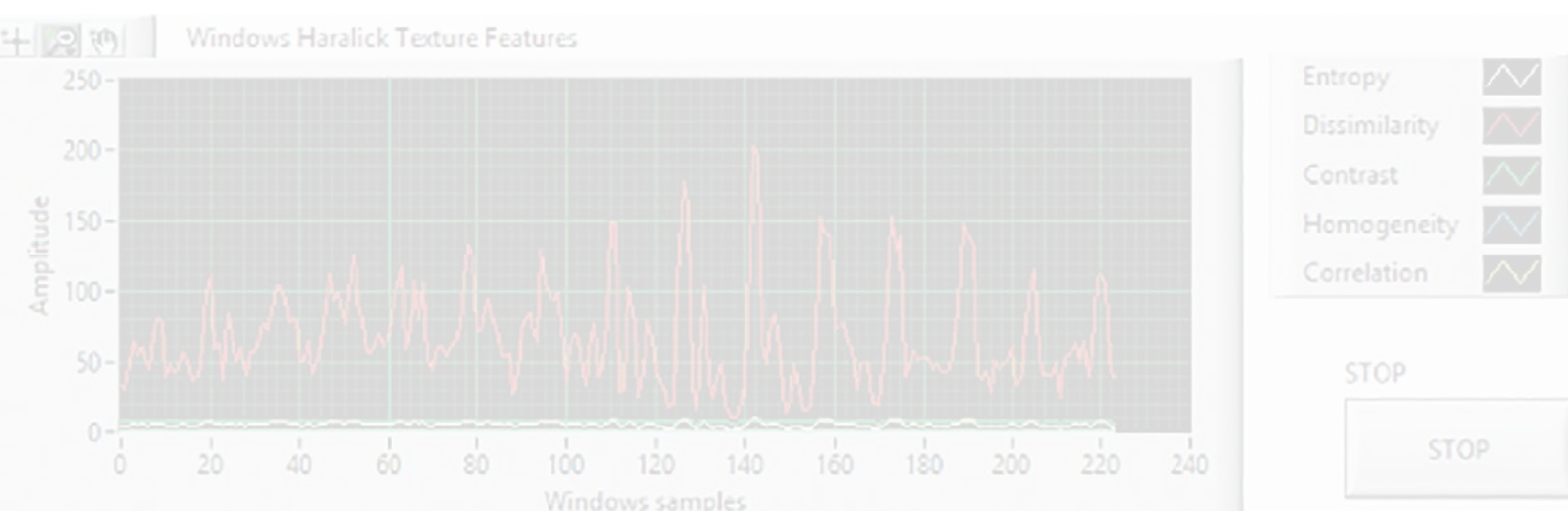
Se presenta el desarrollo de un sistema capaz de estimar la materia orgánica, hierro y capacidad de intercambio catiónico del suelo, a través del uso de Redes Neuronales Artificiales (RNA) y Análisis de Componentes Principales (ACP). Las variables empleadas para realizar análisis fueron: textura, histograma de color HSL y RGB de las imágenes, las cuales fueron correlacionadas con las propiedades obtenidas en los análisis de laboratorio convencionales.

Palabras claves: textura, color propiedades químicas, microelementos.

ABSTRACT

The development of a system capable of estimating the organic matter, iron and capacity for cationic exchange of the soil, through the use of Artificial Neural Network (ANN) and principal component analysis (PCA), is presented. The variables used to perform the analysis were texture, HSL color histogram and RGB of the images, which were correlated with the properties obtained in conventional lab analyses.

Keywords: texture, chemical color properties, microelements.



Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 54-61.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

La evaluación de los suelos es de gran interés, debido a que es el medio para obtener alimentos y juega un papel importante en el desarrollo de los agroecosistemas. Existen numerosas metodologías para evaluar sus propiedades; sin embargo, el uso de imágenes para tal fin ha ido incrementándose debido a que es una metodología eficiente, reduce tiempo y costos, y ha resultado ser una alternativa en la clasificación de la superficie del suelo (Luscier *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2016), estimación del índice de superficie de hojas en ecosistemas (McBratney *et al.*, 2003), identificar zonas erosionadas (Trueba-Espinosa *et al.*, 2004), propiedades mecánicas de productos de horticultura (Mollazade *et al.*, 2013), clasificación de alimentos (Golzarian y Frick, 2011), reconocimiento de hierba ajena a la producción (Li y Ji, 2008), determinación de la humedad (Zanetti *et al.*, 2015), determinación de microporos (Maragos *et al.*, 2004; Houston *et al.*, 2017) y concentraciones de otros nutrientes, tales como el fósforo (P) (Keshavarzi *et al.*, 2015). El color del suelo ha sido analizado convencionalmente con el uso de las tablas de color de Munsell (DOF, 2002) y está relacionado con las concentraciones de diversos compuestos presentes en él; entre ellos, la materia orgánica (MO), los componentes ferromagnesianos, componentes litológicos y el contenido de humedad (Moritsuka *et al.*, 2014; Porta-Casanellas *et al.*, 2003). Debido a esto se ha evaluado la correlación del color con otras variables fisicoquímicas, como es el caso de Moritsuka *et al.* (2014), quienes utilizando el Colorímetro tri-estimulante SPAD-503 y estadística descriptiva en Microsoft Excel 2010 para Windows correlacionaron matiz, brillo y saturación con carbono total (C), nitrógeno total (N) y hierro activo (Fe_0), obteniendo correlaciones negativas entre el brillo (L) y el C ($R^2=0.7$) y el N ($R^2=0.59$) en el grupo de muestras de suelos nacionales y positivas entre el amarillo (b) y Fe_0 de $R^2=0.59$ para muestras de suelo de un solo sitio de muestreo (Moritsuka *et al.*, 2014). Adicionalmente, se ha buscado estimar el porcentaje de residuos de humus en suelos y poder determinar el grado de degradación de plástico biodegradable y polietileno. Moreno *et al.* (2014) buscaron evaluar los métodos de umbral Otsu, Ridler-Calvard, Entropía local y Umbral manual, utilizando una cámara digital (Canon Power Shot A80-35mm) y la herramienta de procesamiento de imágenes de Matlab R2009a, y obtuvieron resultados confiables al convertir imágenes RGB a HSV y utilizando el histograma del plano de saturación. Los métodos Otsu y Ridler Calvard obtuvieron resultados más precisos para este tipo de evaluación; sin embargo, las conclusiones de las imágenes pueden variar de un observador a otro. Autores como Thompson *et al.* (1992), Marcelino *et al.* (2007) y Baveye *et al.* (2010) han señalado que deben existir parámetros para reducir la variabilidad de las determinaciones. Entre las variables a controlar se encuentran la toma de muestras, el método de secado, la solidificación con resinas y el curado por un número de días previo a la toma de la foto y posterior a ésta: los arreglos de luz, la lente o lentes de la cámara, la configuración de la exposición y apertura de la lente, entre otros aspectos (Baveye *et al.*, 2010). Actualmente se han realizado varias comparaciones entre expertos, concluyendo que existe gran variabilidad en el software utilizado en el pre-tratamiento de la muestra; desde si se utiliza alguno o no, y en el método utilizado para el umbral y el pre-tratamiento de la muestra (Baveye *et al.*, 2010). Se ha buscado sumar a las imágenes otras metodologías para lograr los ob-

jetivos deseados; en este sentido, las redes neuronales (ANN, por sus siglas en inglés) han incrementado sus aplicaciones en los análisis de suelos ya que presentan mejor precisión que los modelos de regresión lineal. Zanetti *et al.* (2015) utilizaron imágenes y ANN para determinar la humedad del suelo con un procedimiento estándar para tomar las fotografías, utilizando una Cámara digital Canon® PowerShot A7 10 IS y resolución 7.1 megapíxeles en un sitio oscuro donde solo hubiera luz del flash de la cámara. Utilizó el modelo RGB y el software imageJ para cortar las imágenes de las muestras representativamente y las ANN fueron entrenadas 100 veces para cada caso evaluado. Los resultados fueron similares a los obtenidos por el método TDR (Third-order Polynomial Equation), donde el mismo modelo para varios tipos de suelos presentó un error de 0.0575 g/g; este mismo entrenado con datos de solo el primer suelo tuvo un error mayor, de 0.0781 g/g mientras que al entrenarlo con los suelos 2 y 3 individualmente, hubo un error de 0.0380g/g y 0.0422g/g, respectivamente, un método estandarizado (Zanetti *et al.*, 2015). Keshavarzi *et al.* (2015) utilizaron las ANN para determinar la concentración de Fósforo (P) con información sobre la correlación de distribución del suelo en los patrones de crecimiento de vegetación, topografía, características de la vegetación mediante imágenes satelitales e información pedológica, reportando una R^2 de 0.68 (Keshavarzi *et al.*, 2015). En otro estudio realizado con el objetivo de hacer clasificación de suelos, utilizando la cámara de un celular Xiaomi2s, un lente D7000 SLR (Single Lens Reflex), un sensor CMOS (23.6 mm×15.6 mm) con 16.2 millones de píxeles efectivos y el rango focal

entre 18 y 105 mm), dio resultados positivos para diez suelos superiores a 90 % en identificación bajo condiciones específicas de intensidad de iluminación y humedad en las muestras; sin embargo, se concluyó que es difícil controlar la luz ambiental y los parámetros del equipo de visión. Por otro lado, se destacó que las diferencias en el hardware del celular podría afectar la precisión de los resultados y la estabilidad del software y la humedad en las muestras puede causar que el color se oscurezca generando resultados diferentes (Han *et al.*, 2016). Otra de las metodologías novedosas para el análisis de suelos es el uso de imágenes digitales aéreas; un ejemplo de este es el estudio realizado por Trueba-Espinosa *et al.* (2004), quienes evaluaron el grado de erosión hídrica mediante el modelo RGB de una imagen y ANN, obteniendo errores de 2.5 % y 7.1 % en el tepetate blanco y vegetación, respectivamente, y errores de sobreestimación para el tepetate amarillo, árboles, vegetación, cárcavas en dos profundidades y pedestales. Emplear esta herramienta en cuantificación de vegetación evita la subjetividad para determinar qué tipo de vegetación se presenta en ecosistemas; en este sentido, Lusier *et al.* (2006) buscó cuantificar zonas de suelos cubiertas con pasto, arbustos, desechos, sin vegetación,

empleando una Kodak DC4800 Zoom Digital Camera (Eastman Kodak Company, Rochester, NY) montada en un palo de golf a 1.5 m de altura, estableciendo la resolución en la cámara en 3.1 megapíxeles y empleando el software e-Cognition. Determinaron la combinación de escala, color y forma y utilizaron el Índice Kappa para estimar la correlación entre segmentos, concluyendo con cuantificaciones de pasto con una desviación hacia la sobre-estimación no mayor a 4 %, y para los arbustos no fue mayor a 3 %, mientras que para los residuos hubo un error no mayor a 4 % en sobre-estimación y 2 % en sub-estimación, de tal modo que el presente estudio tiene el objetivo de estimar concentraciones de compuestos químicos presentes en suelos Vertisoles de la región de las Montañas del estado de Veracruz, México, con producción de caña de azúcar con el uso de ANN e imágenes digitales.

MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de visión desarrollado consistió en una cámara digital de 21 Mega Píxeles y un sistema controlado de iluminación en donde las muestras se colocan y analizan. Se realizó un programa en LabVIEW para la adquisición de la imagen y su procesamiento digital, el cual consistió en realizar el cálculo matemático del algoritmo de extracción de características de Haralick para el análisis de textura y la obtención del histograma HSL y RGB para el análisis de color de la muestra del suelo. Se utilizó un sensor de humedad controlado por un microcontrolador Arduino Due con un ADC de 12 bits de resolución (Figura 1).

Para el análisis de textura se utilizó una técnica llamada extracción de características de Haralick, la cual mide el contraste, correlación, homogeneidad, energía y entropía. Específicamente, el contraste mide la cantidad de

los cambios localizados en una imagen; la correlación, cómo relacionar un píxel con sus alrededores; la homogeneidad, la similitud entre píxeles. La energía también significa uniformidad y la entropía es una medición de aleatoriedad de la intensidad de una imagen. La Figura 2 muestra el programa que realiza



Figura 1. Sistema de adquisición de imágenes.

el procesamiento de imágenes de los suelos, el cual obtiene el histograma HSL y RGB y el análisis de textura de Haralick.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Suelos: Fueron extraídas 105 muestras de suelo de tipo vertisol con cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en la región de las altas montañas de Veracruz, México. Cada una fue enviada al laboratorio para obtener sus propiedades físico-químicas. Estos análisis son de gran relevancia para poder realizar la correlación de los parámetros obtenidos mediante las técnicas de visión artificial y los resultados de laboratorio. Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados de laboratorio de la capacidad de intercambio catiónico y materia orgánica de una sección de las muestras de suelos.

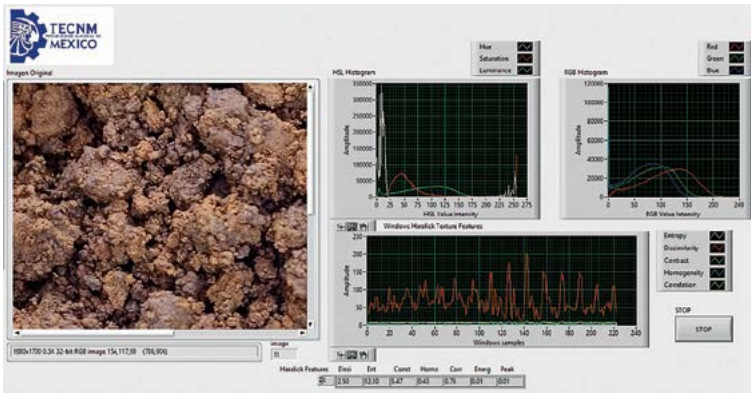


Figura 2. Interface gráfica que realiza el procesamiento de las imágenes de los suelos.

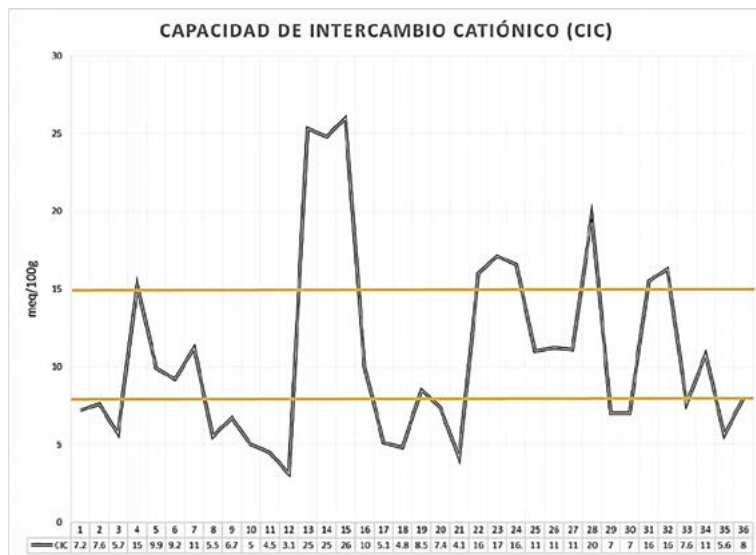


Figura 3. Resultados de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

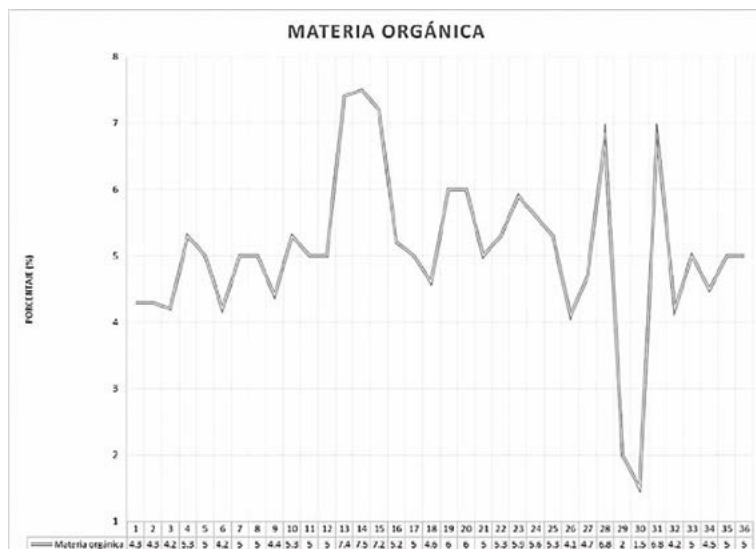


Figura 4. Resultados de laboratorio de materia orgánica (MO).

Textura: La experimentación consistió en realizar el análisis de color y textura de 105 muestras de suelo de tipo vertisol con cultivos de caña de azúcar. La humedad es un factor importante, por lo cual se controló en cada muestra para que estuvieran en un rango de 45 % a 55 %. Estas fueron depositadas al sistema de análisis para que su imagen fuera adquirida y obtuviera el procesamiento digital de las imágenes. De la Figura 5 a la 12 se muestran diferentes tipos de suelo que fueron analizados con el sistema de visión.

En la Figura 13 se observan los resultados de textura obtenidos de las 105 muestras de suelo que fueron analizadas. Estos presentan la entropía, contraste, homogeneidad, correlación y energía de cada una de ellas.

De la Figura 14 a la 17 se muestran por separado las gráficas de las variables de Haralick obtenidas en el análisis de las muestras.

Los datos obtenidos en el laboratorio de las muestras presentaron varianza significativa, por lo cual fue importante realizar este análisis para verificar que los datos obtenidos con el sistema, también tuvieran el mismo tipo de significancia. Se realizó un estudio de análisis de varianza (ANOVA) de los siete parámetros de la extracción de características del suelo de Haralick en las imágenes del estudio de las 105 muestras existentes ($P \geq 0.01$).

Análisis de Color de Hue

En las Figuras 18 y 19 se observa el análisis de color de HUE de las muestras de suelo, acorde al mapa de color de HUE. Los rangos de la tonalidad roja (que es en donde se concentran en mayor parte el color de las muestras de suelo) se encuentran en valores de 210 a 240 y de 0 a 50. En las gráficas se puede apreciar que estos son los tonos principales. La Figura 19 muestra el resultado obtenido de 20 imágenes (1-20), correspondientes a igual número de muestras de suelos. Cada color representa un rango en el histograma; por ejemplo, H (10), que es el color azul de gráfica, indica el porcentaje de píxeles en la imagen que se encuentran en un rango de tono de 0-10 del color de Hue.

La Figura 19 presenta el resultado obtenido de 20 imágenes (21-40) correspondientes a 20 diferentes muestras de suelos.

Los datos obtenidos durante el análisis de HUE son relevantes debido a que los diversos rangos de colores que se encuentran concentrados en la imagen pueden conocerse a detalle. Los dominantes son los que definen al suelo y con los cuales se va a realizar la estimación y correlación con los análisis de laboratorio del suelo. Sin embargo, el otro rango nos entrega parámetros importantes, como podría ser el espacio entre rocas.

Sistema inteligente

Los datos obtenidos del histograma de color y de textura de las muestras de suelo fueron utilizados para realizar el sistema inteligente que sea capaz de correlacionar los datos de entrada del sistema de visión con los obtenidos en el análisis de laboratorio. Una parte fundamental en el diseño de los sistemas inteligentes es brindar al algoritmo de reconocimiento con datos de entrada que tengan variabilidad e importancia. A continuación se describe el vector de entrada con los datos adquiridos por el sistema de visión:

- Visión: 7 datos de las variables de Haralick
- Visión: 25 datos del histograma de color de Hue
- Visión: 75 datos de los histograma de color R,G,B

Como variables de salida se seleccionaron los siguientes datos:

- Mo, Fe, CIC

Análisis de componentes principales: En total fueron 107 datos de cada una de las 105 muestras de suelo. Estos datos pertenecen a la matriz que debe generar una correlación con los de los análisis físico-químicos del laboratorio. Utilizar los 107 datos de cada una de las 105 muestras como entrada para entrenar una Red Neuronal Artificial puede derivar en un entrenamiento incorrecto de la red, debido a que muchas de estas variables podrían no tener una relevancia significativa. Por esta razón fue necesario rea-



Figura 5. Muestra 1, Humedad 50 %.



Figura 6. Muestra 10, Humedad 50 %.



Figura 7. Muestra 20, Humedad 50 %.



Figura 8. Muestra 30, Humedad 50 %.



Figura 9. Muestra 40, Humedad 50 %.



Figura 10. Muestra 50, Humedad 50 %.



Figura 11. Muestra 80, Humedad 50 %.



Figura 12. Muestra 100, Humedad 50 %.

lizar un pre-procesamiento de estos datos para conocer la varianza y correlación de los mismos con el objetivo de reducir la dimensionalidad del vector de entrada a la red neuronal. Un PCA es una metodología estadística que realiza una transformación lineal a través de la creación de un nuevo sistema de coordenadas para los datos

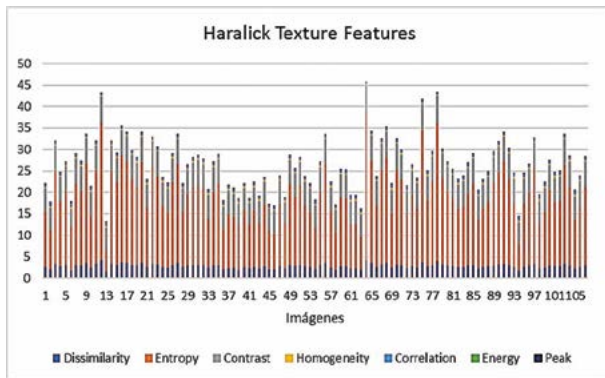


Figura 13. Resultados de las características de disimilitud, entropía, contraste, homogeneidad, correlación, energía e intensidad de las 105 imágenes procesadas.

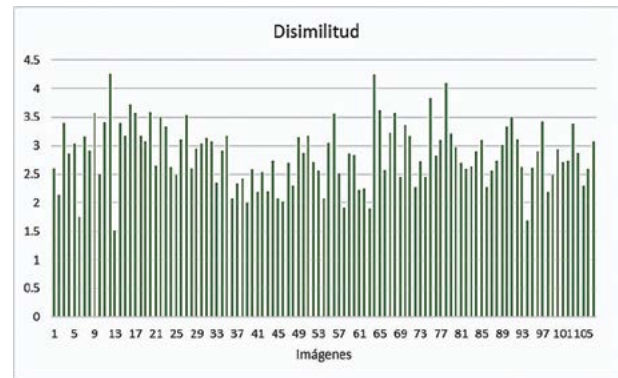


Figura 14. Resultados de las características de disimilitud, entropía, contraste, homogeneidad, correlación, energía e intensidad de las 105 imágenes procesadas.

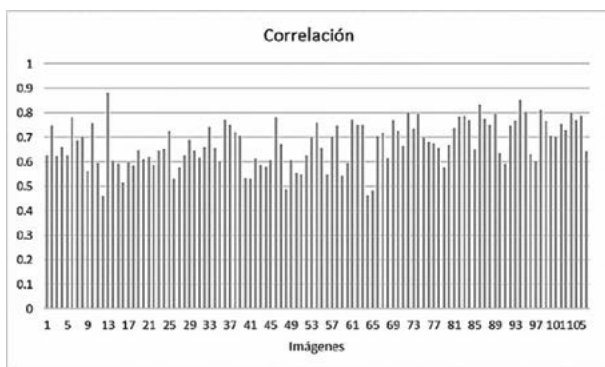


Figura 15. Resultado de la característica de correlación de las 105 imágenes procesadas

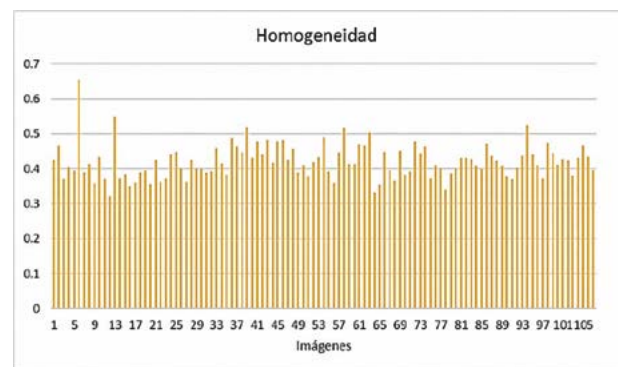


Figura 16. Resultados de la característica de homogeneidad de las 105 imágenes procesadas.

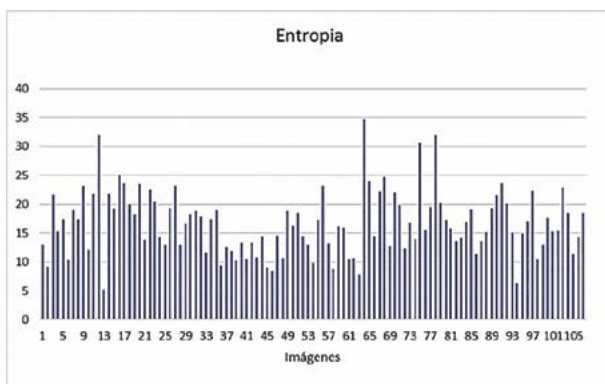


Figura 17. Resultado de la característica de Entropía de las 105 imágenes procesadas.

de entrada, en el cual en sus ejes coloca los datos de mayor a menor varianza. Un PCA crea un nuevo sistema en el cual ordena los datos de más a menos relevantes; con esto se puede lograr reducir la dimensionalidad de los datos. Se realizó la programación utilizando el software Matlab de un PCA mediante los 11235 datos de la matriz de entrada, que corresponde a 107 dimensiones por 105 muestras. Acorde con los resultados del PCA se

seleccionaron los ocho primeros componentes principales, reduciendo el vector de entrada de entrenamiento, utilizado en la red neuronal a ocho dimensiones.

Entrenamiento de la Red Neuronal Artificial (ANN): Se modeló una red neuronal con los ocho datos de entrada provenientes de la reducción dimensional obtenida por el PCA y se experimentó con diferentes configuraciones relacionadas al número de capas ocultas y de neuronas en la capa oculta. Esta red neuronal entrega tres salidas como resultado, las cuales son MO, Fe y CIC. Las Figuras 20 y 21 muestran la estructura de la red neuronal compuesta por una capa de entrada y una intermedia de neuronas.

La Figura 22a muestra el comportamiento de una red neuronal, utilizando cinco neuronas en la capa oculta de la red, obteniendo un error de reconocimiento de 4.28 %. La Figura 22b muestra el comportamiento de la red neuronal, utilizando 15 neuronas en la capa oculta, con un error de 1.45 %. Las gráficas muestran el target (la línea azul) que representa el valor de reconocimiento

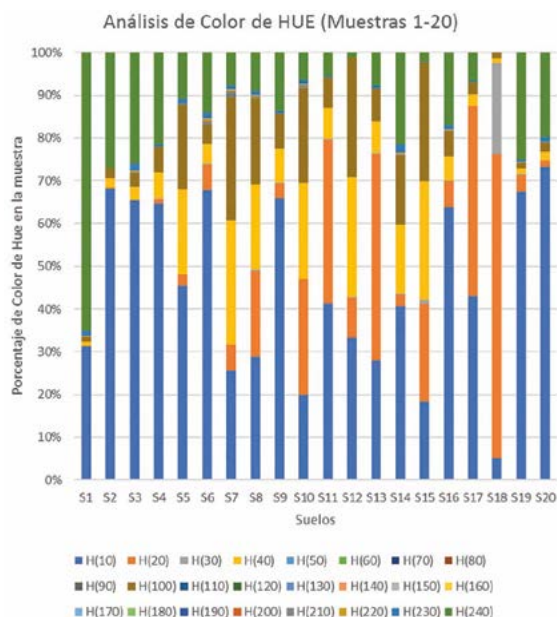


Figura 18. Análisis de color de HUE, muestras de suelo (1-20).

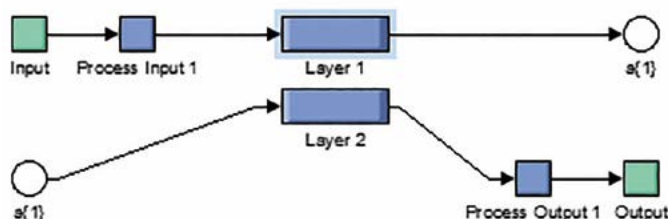


Figura 20. Estructura de la red neuronal, capa de entrada de neuronas y capa intermedia de neuronas.

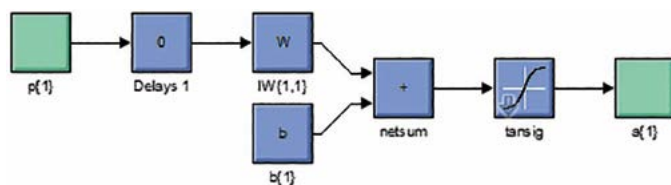


Figura 21. Capa de entrada, compuesta por el algoritmo de normalización, los pesos y la función.

ideal y los círculos en la gráfica son los valores reales de reconocimiento obtenidos por cada valor del target. Se puede apreciar cómo la red neuronal con 15 neuronas en la capa oculta presenta un menor error en el reconocimiento.

Una vez entrenada la red neuronal se procede a realizar una prueba de reconocimiento, utilizando valores de una muestra de suelo. Para realizar esto se ingresaron a la red neuronal los 107 datos provenientes de los parámetros del sistema de visión y se obtuvieron las estima-



Figura 19. Análisis de color de HUE muestras de suelo (1-106).

ciones de los tres valores de salida correspondientes al MO, Fe, CIC.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en el algoritmo de reconocimiento indican que existe una correlación entre las propiedades químicas como la materia orgánica, el hierro y la capacidad de intercambio catiónico de los suelos obtenidos por el sistema de visión y los análisis de laboratorio de estas variables químicas, lo cual hace factible tener una estimación de estos, utilizando únicamente técnicas de visión y de inteligencia artificial.

AGRADECIMIENTOS

Al Fondo Sectorial de Investigación Ambiental por el financiamiento otorgado para la realización de este proyecto, en la convocatoria SEMARNAT CONACYT 2015_1. Al CENACAFE por el apoyo brindado para la obtención de muestras de suelos en la región de las altas montañas en el estado de Veracruz.

LITERATURA CITADA

Baveye, P. C., Laba, M., Otten, W., Bouckaert, L., Dello Sterpaio, P., Goswami, R. R., ... Sezgin, M. (2010). Observer-dependent variability of the thresholding step in the quantitative analysis of soil images and X-ray microtomography data. *Geoderma*, 157(1-2), 51-63. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.03.015>

- Diario Oficial de la Federación. (2002). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000, que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis, 1-65.
- Golzarian, M. R., & Frick, R. A. (2011). Classification of images of wheat, ryegrass and brome grass species at early growth stages using principal component analysis. *Plant Methods*, 7(1), 28. <http://doi.org/10.1186/1746-4811-7-28>
- Han, P., Dong, D., Zhao, X., Jiao, L., & Lang, Y. (2016). A smartphone-based soil color sensor: For soil type classification. *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 232–241. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2016.02.024>
- Houston, A. N., Otten, W., Falconer, R., Monga, O., Baveye, P. C., & Hapca, S. M. (2017). Quantification of the pore size distribution of soils: Assessment of existing software using tomographic and synthetic 3D images. *Geoderma*, 299, 73–82. <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.03.025>
- Keshavarzi, A., Sarmadian, F., Omran, E.-S. E., & Iqbal, M. (2015). A neural network model for estimating soil phosphorus using terrain analysis. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 127–135. <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.004>
- Li, Z., An, Q., & Ji, C. (2008). Classification of Weed Species Using Artificial Neural Networks Based On Color Leaf Texture Feature. *The Second IFIP International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA2008)*, 294, 1217–1225. http://doi.org/10.1007/978-1-4419-0211-5_50
- Luscier, J. D., Thompson, W. L., Wilson, J. M., Gorham, B. E., & Dragut, L. D. (2006). Using digital photographs and object-based image analysis to estimate percent ground cover in vegetation plots. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(8), 2006. [http://doi.org/10.1890/1540-9295\(2006\)4\[408:UDPAOI\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1890/1540-9295(2006)4[408:UDPAOI]2.0.CO;2)
- Maragos, P., Sofou, A., Stamou, G. B., Tzouvaras, V., Papatheodorou, E., & Stamou, G. P. (2004). Image analysis of soil micromorphology: Feature extraction, segmentation, and quality inference. *Eurasip Journal on Applied Signal Processing*, 2004(6), 902–912. <http://doi.org/10.1155/S1110865704402054>
- Marcelino, V., Cnudde, V., Vansteelandt, S., & Carò, F. (2007). An evaluation of 2D-image analysis techniques for measuring soil microporosity. *European Journal of Soil Science*, 58(1), 133–140. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00819.x>
- McBratney, a. B., Mendonça Santos, M. L., & Minasny, B. (2003). On digital soil mapping. *Geoderma* (Vol. 117). [http://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00223-4](http://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00223-4)
- Mollazade, K., Omid, M., Akhlaghian Tab, F., Kalaj, Y. R., Mohtasebi, S. S., & Zude, M. (2013). Analysis of texture-based features for predicting mechanical properties of horticultural products by laser light backscattering imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 98, 34–45. <http://doi.org/10.1016/j.compag.2013.07.011>
- Moreno, C., Mancebo, I., Saa, A., & Moreno, M. M. (2014). Image Analysis to Estimate Mulch Residue in Soil. *The Scientific World Journal*, 2014.
- Moritsuka, N., Matsuoka, K., Katsura, K., Sano, S., & Yanai, J. (2014). Soil color analysis for statistically estimating total carbon, total nitrogen and active iron contents in Japanese agricultural soils. *Soil Science and Plant Nutrition*, 60(4), 475–485. <http://doi.org/10.1080/00380768.2014.906295>

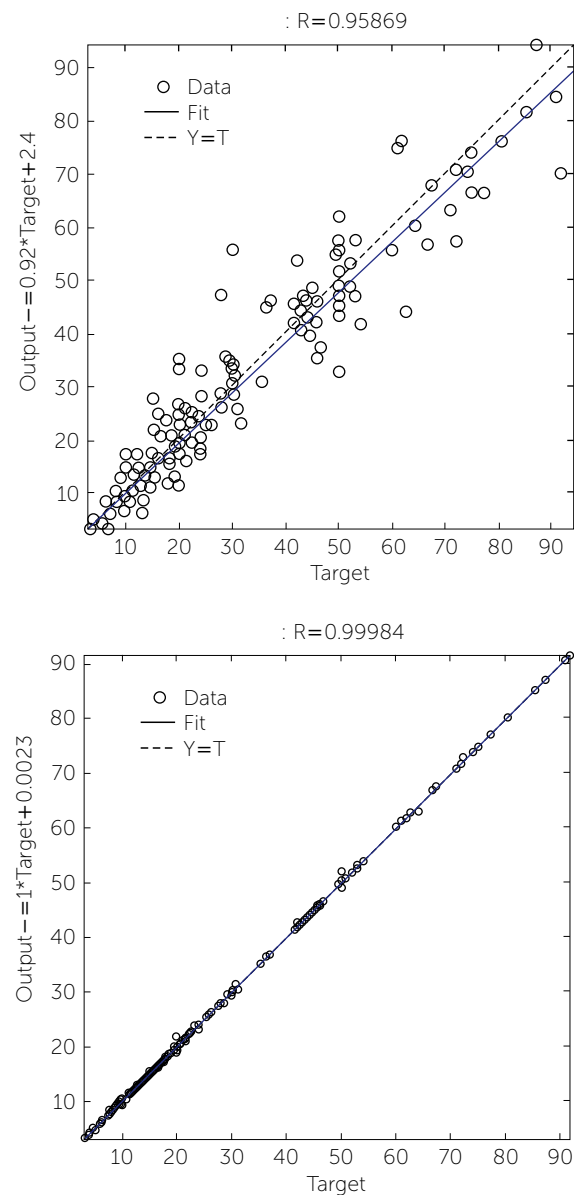


Figura 22. a: ANN usando 5 neuronas en la capa oculta. b: ANN usando 15 neuronas en la capa oculta.

- Porta-Casanellas, J., López-Acevedo, M., & Roquero-deLaburu, C. (2003). *Edafología para la agricultura y el medio ambiente* (3a ed.). España: Mundi-Prensa.
- Thompson, M. L., Singh, P., Corak, S., & Straszheim, W. E. (1992). Cautionary notes for the automated analysis of soil pore-space images. *Geoderma*, 53, 399–415. [http://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7061\(92\)90067-H](http://doi.org/https://doi.org/10.1016/0016-7061(92)90067-H)
- Trueba-Espinosa, A., Oropeza-Mota, J., Ortiz-Solorio, C., Martínez-Alcántara, A., & Ruelas-Ángeles, G. (2004). Identification of eroded zones with digital images using artificial neural networks. *Agrociencia*, 38(6), 573–581.
- Zanetti, S. S., Cecilio, R. A., Alves, E. G., Silva, V. H., & Sousa, E. F. (2015). Estimation of the moisture content of tropical soils using colour images and artificial neural networks. *Catena*, 135, 100–106. <http://doi.org/10.1016/j.catena.2015.07.015>

DISEÑO DE UN INVERNADERO VERTICAL E INTEGRACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA SU INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

DESIGN OF A VERTICAL GREENHOUSE AND INTEGRATION OF TOOLS FOR ITS ELECTRONIC INSTRUMENTATION

Ramos-Tejeda, R.¹; Martínez-Sibaja, A.^{1*}; Posada-Gómez, R.¹; Águila-Rodríguez, G.¹; Rodríguez-Jarquín, J.P.¹; Trujillo-Caballero, J.C.¹

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No 852, Col. Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz, México. C.P. 94320.

*Autor de correspondencia: amartinez@ito-depi.edu.mx

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue diseñar un dispositivo capaz de producir vegetales a pequeña escala en invernadero. En el transcurso de la investigación se determinaron los factores claves para monitorear dos variables químicas y cuatro físicas. La electrónica que se desarrolló permite medir la conductividad, potencial de hidrógeno, la temperatura y humedad, nivel por desplazamiento e iluminación. Para el diseño del invernadero vertical se utilizó una estructura en dos secciones, una que albergara a la electrónica, además del reservorio de la hidroponía, y otra que contuviera a las plantas situadas en una torre con una distribución que permitiera su libre crecimiento. Como diseño se utilizó la morfología de la fresa (*Fragaria* sp.) y se calculó un arreglo en dos espirales dispuestos a 180° desde la parte superior y separadas a 40 cm de forma descendente el uno del otro; este arreglo dio espacio para 14 plantas. Para hacer funcionar el sistema se diseñaron tarjetas electrónicas para cada variable y acopladas a una tarjeta Arduino que procesa, monitorea la información y despliega la misma en un display de cuatro líneas; se motorizó la torre para que la incidencia de luz solar fuera igual en todas las plantas, girando a 2 rpm. Como resultado se obtuvo una unidad funcional de monitoreo de variables, ideal para el cultivo de fresa y otras especies menores.

Palabras clave: invernadero, cultivo protegido, cultivo en casa.

ABSTRACT

The objective of this study was to design a device capable of producing vegetables at a small scale in greenhouse. During the research, the key factors to monitor two chemical variables and four physical ones were defined. The electronic one that was developed allows measuring the conductivity, hydrogen potential, temperature and moisture, level from displacement and illumination. For the design of the vertical greenhouse, a structure in two sections was used: one that housed the electronic one in addition to the hydroponics reservoir, and another that contained the plants located in a tower with a distribution that allows their free growth. The morphology of strawberry (*Fragaria* spp.) was used

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 62-66.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.



as design, and an arrangement in two spirals set out at 180° from the high part and separated in a descending manner at 40 cm one from the other was calculated; this arrangement gave space to 14 plants. To make the system work electronic cards were designed for each variable and coupled to an Arduino card that processes, monitors information, and displays it on a four-line display, with a motorized tower for the incidence of solar light to be equal in all the plants revolving at 2 rpm. As a result a functional variable monitoring unit was obtained, ideal for cultivation of strawberry and other small species.

Keywords: greenhouse, protected crop, in-house cultivation.

INTRODUCCIÓN

Las especies vegetales requieren varios elementos para su crecimiento, y entre las más importantes está el sustrato, que es un medio para el soporte de la planta y desarrollo de las raíces, que permite la irrigación adecuada para su nutrición, además de luz solar. Un invernadero es una estructura cerrada que protege a un cultivo de los factores externos, tales como lluvia, calor y viento; además, facilita la aplicación controlada de elementos nutrimentales, por lo cual se espera que su diseño sea de calidad y permita que las acciones puedan ser monitoreadas de forma automática. Como cualquier otra herramienta, este diseño puede ser mejorado; por ejemplo, en el área de la automatización y control, para mejorar la producción, proteger a los agricultores y minimizar el tiempo de trabajo dentro del invernadero en la propagación de tejidos o para mejorar el uso de recursos y la modificación de los espacios urbanos. Mencionando algunas de estas tecnologías, la hidroponía ha avanzado en los últimos años y en este momento ya no se considera a un invernadero sin este tipo de tecnología para tener mayor eficiencia, sobre todo, en el uso del agua. El uso de invernaderos es una herramienta que también ha tenido auge en México; sin embargo, requiere de fuertes inversiones y conocimientos especializados.



El espacio ha sido la clave para que se desarrollen los invernaderos verticales, los hay de varios tipos de riego y sujeción de la planta y cada uno se adecua a las necesidades del entorno, y el número de plantas por m² es la clave para que el modelo invernadero según el cultivo se ocupe y prospere. El modelo de invernadero vertical utiliza contenedores de plástico, y considera un arreglo laminado, donde las plantas son depositadas en huecos que facilitan su irrigación (Figura 1), por recirculación, o por goteo, dependiendo de la naturaleza del sustrato. Este formato de invernadero cuenta con un tipo de bolsas o mangas donde se deposita el sustrato y se cortan orificios donde se colocaran las plantas. En este diseño la estructura que los sujeta debe ser robusta, pues el peso de las mangas se incrementa con el sustrato, más el agua que se le añade.

Otro modelo es el que utiliza una torre o macetas dispuestas de tal forma que apiladas una sobre otra forman una torre y la altura dependerá del número de macetas, haciendo pasar por la parte interna de la torre una tubería que lleva la hidroponía hasta la parte superior de la misma (Figura 2).

Hidroponía

La hidroponía ha sido utilizada desde hace muchos años de forma comercial; se ha adaptado a cultivos al aire libre e invernaderos. El sistema de recirculación de nutrientes desarrollado por Glasshouse Crop Research Institute, Inglaterra, en la década de los sesenta, consistía en un

Diseño de invernadero vertical compacto

Un invernadero es un sistema que puede ser construido de diferentes formas y tamaños, dependiendo de las necesidades y recursos económicos que se dispongan; sin embargo, lo primero que se ha de considerar es su ubicación, evitando árboles o estructuras altas que impidan el paso del sol, que se tenga una fuente de agua propicia para los riegos, y que se cuente con electricidad para hacer funcionar la instrumentación.

Invernaderos verticales

El concepto de agricultura vertical existe desde 1915 cuando eran dinamitadas las laderas de las montañas para hacer espacio para la agricultura se preparaba el suelo y se hacían crecer hortalizas para el consumo humano. Más recientemente este concepto fue desarrollándose solo en países en los que su orografía no permitía la agricultura tradicional.



Figura 1. Modelo de invernadero vertical que utiliza plástico.



Figura 2. Invernadero vertical en modelo de torres individuales y en carrusel.

sistema de recirculación de una delgada lámina de líquido nutritivo por las raíces del cultivo sin que se produjera una pérdida de nutrientes, pues al ser un sistema cerrado el material es aplicado una y otra vez hasta que este se degrada o pierde su efectividad para seguir alimentando al cultivo. Su creador, el Dr. Allan Cooper, construyó canales de concreto y con ayuda de dos bombas hacía recircular los nutrientes a través de los canales, que después fue simplificado por una sola bomba; este sistema se utiliza en diferentes partes del mundo y, por lo general, en países de pocos recursos por ser de alguna forma

fácil de implementar, y los métodos se abaratan, además de ser un sistema que acelera la producción del cultivo por aprovechar adecuadamente el agua y el oxígeno.

Humedad y temperatura en el invernadero

Para controlar la temperatura y humedad se aplica la tecnología electrónica que ayuda a la unificación de las dos variables en un solo sensor; el sensor HMZ-433A1 cuenta con las dos variables (Figura 3).

Para la caracterización de este sensor se utilizó el programa LabView, pero para hacerlo funcionar se necesitó la tarjeta Arduino Nano (Figura 3), además de conexiones físicas de un hidrómetro marca CEM, modelo DT-172, para calibrar el sensor. Con la tarjeta Nano se procedió a generar un panel para recibir los datos del sensor, panel frontal, diagrama de bloque y diagrama de bloques interno de la utilidad del termistor.

Luminosidad

Un invernadero vertical dependiendo del diseño puede tener algunas desventajas, tales como la incidencia de luz solar en todas las plantas de manera uniforme, por lo que en este diseño se consideró el uso de una torre que al hacerla girar pudiera recolectar tanta luz como fuera posible (Figura 4 A).

Nivel

Para el nivel se utilizó un LVDT, pero se optó por una función más simple y solo se utilizaron dos devanados, uno que induce el voltaje y otro el inducido. El voltaje

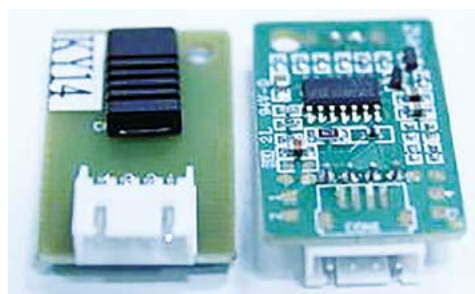
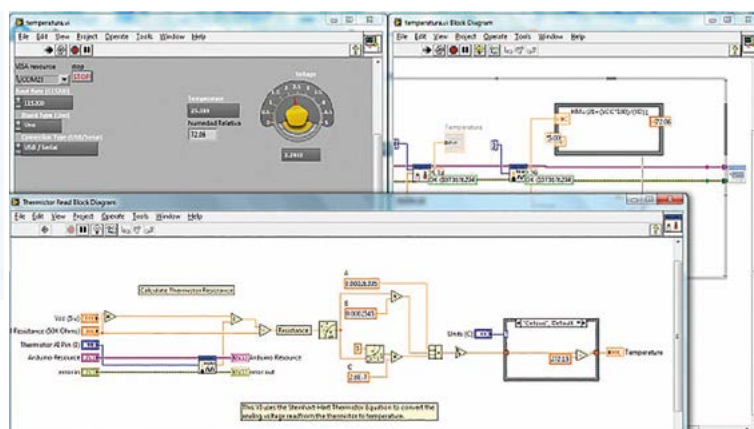


Figura 3. Sensor HMZ-433A1 y Panel y diagrama a bloques para medir temperatura y humedad.



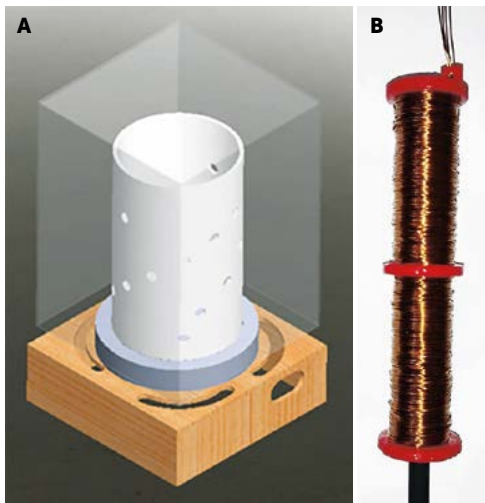


Figura 4. A: Torre de giro. B: Sensor de nivel LVDT.

resultante se amplifica, rectifica y adecua para que incursione en un rango de 0 a 3.3 volts en un espacio de 5 cm, el cual corresponde al necesario para asegurar que el nivel de agua no se sitúe por debajo de la bomba sumergible (Figura 4 B), diseñado en SolidWorks e impreso en 3D con una densidad de 10 %.

Conductividad

El agua pura prácticamente no conduce la corriente; sin embargo, el agua con sales disueltas conduce la corriente

eléctrica por tener iones cargados positivos o negativos, y la cantidad depende de la cantidad de iones, su movilidad y valencia, además de la temperatura. Se diseñó una placa que alberga la circuitería necesaria para que la señal sea interpretada por la tarjeta Arduino Due y para ello se utilizó el programa Ultiboard y el Multisim para diseñar la electrónica (Figura 5).

pH

La medición de pH es uno de las variables más documentadas debido a que hay varios desarrollos en esta área. Desde los años noventa comienza el desarrollo para la determinación de las concentraciones de

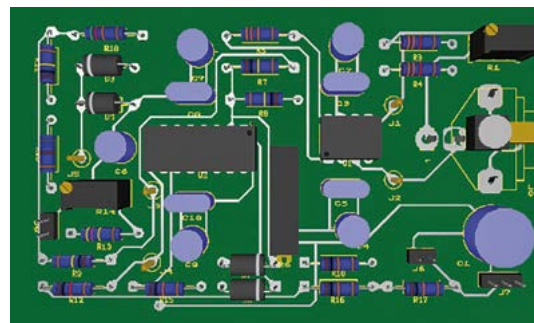


Figura 5. Placa de conductividad.

hidrógeno y los primeros elementos de medición fueron los electrodos de cristal; en este momento hay desarrollos con transistores de efecto de campo y sensores flexibles contruidos de fibra óptica para la medición de pH dentro de un cuerpo. Para medir el pH se utilizó una sonda de propósito general (Figura 6 A), cuyos valores de voltaje que se recuperaran de la sonda se sitúan en un rango de -200 mV a $+200$ mV. Para la calibración de un circuito de medición de pH es necesario utilizar sustancias con pH de referencia; estos son llamados buffers. Para este diseño se utilizaron soluciones de 4 pH, 7 pH y 10 pH para calibrar el circuito y la salida de voltaje fluctúe de 0 volts a 3 volts. En la medición de pH se ocupan rangos de 0 a 14,

utilizando la regla de tres con temperatura de 25°C se establece que para 7 pH el voltaje de salida debería ser 1.5 volt y en la Figura 6 B se observan los componentes de monitoreo e instrumentos electrónicos fuera de la sección inferior del invernadero. Se ajusta la velocidad, procurando contar con un cronómetro y ajustar para que la torre realice una vuelta en 30 segundos. La torre formada por un tubo de PVC de 8" lleva en su interior otro tubo de CPVC de $\frac{1}{2}$ " que con ayuda de una bomba sumergible llevara la solución de hidroponía a un rebosadero que genera una lluvia al interior del tubo de 8" y sobre cada una de las macetas que contendrán las plantas en la

Figura 7 se muestra la parte superior de la torre donde se encuentra el rebosadero.

CONCLUSIONES

A lo largo de la investigación se constató que el instrumentar electrónicamente un

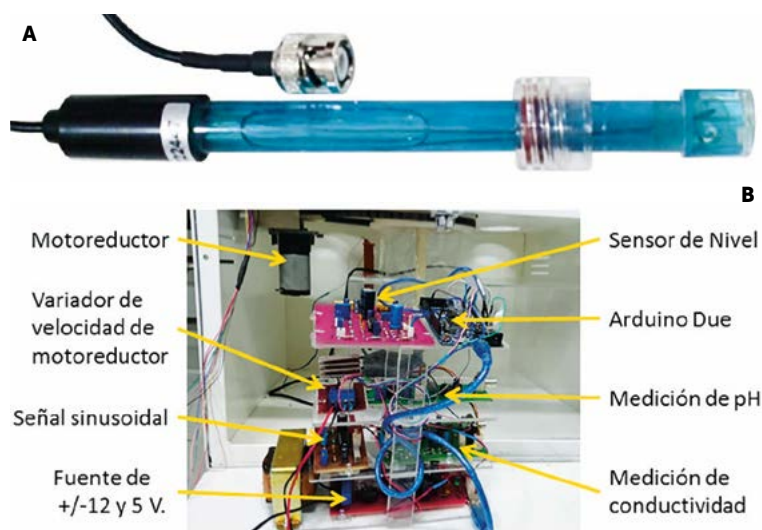


Figura 6. A: Lector de pH. B: Instrumentación electrónica

invernadero ofrece ventajas sobre la agricultura convencional. En el desarrollo de las tarjetas electrónicas para monitorear las variables se puede mencionar que cumplieron con el diseño, se estandarizaron los conectores para evitar errores y se utilizaron cables de colores para diferenciar alimentación de señales de muestreo, además de colocar puntos de prueba que facilitan la calibración de la tarjeta en la variable a evaluar; como resultado, la tarjeta puede ser desinstalada del sistema para mantenimiento y no arrastra ningún cable para facilitar su manejo.

LITERATURA CITADA

- Stanhill H. Z. E.G. 1999. The history and geography of the greenhouse de Ecosystems of the world, Greenhouse ecosystems. Vol. 20, Amsterdam, Elsevier, pp. 7-14.
- Santiago D. G. A. 2011. La agricultura protegida en el estado de Nayarit. Revista Fuente nueva época, nº 7, pp. 44-49.
- Carrillo-Relevés D.A. 2008. Control del clima de un invernadero, XII JORNADAS DE INVESTIGACIÓN, vol. IV, nº 2, pp. 2-6.
- SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA, DESARROLLO RURAL PESCA Y ALIMENTACION. 2007. Hidroponía Rustica. México: SAGARPA Depto. de Fitotecnia.
- García M.A. 2007. Tecnología de robot aplicada a Invernaderos ISSN 0188-7890. Avances en Investigación Agropecuaria, vol. 11, nº 3, pp. 53-59.
- Jerico L.G., Bello-Bello J. 2012. Sistemas de biorreactores para la micropropagación de especies Vegetales de importancia para el estado de Veracruz. INBIOTECA, Veracruz.
- México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2007. El Huerto Familiar Biointensivo. Vol. NA, México, D. F.: Servicios y Formas Gráficas, S.A. DE C.V. p. 7.
- Gobierno del estado de Mexico. 2006. Guía Técnica Para el Cultivo de Fresa. México, D. F.: ICAMEX, Gobierno del Estado de México.
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. 2008. Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos. Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura, vol. 7. p. 5-13.
- Capdeville O.B. 2004. Construcción de un Invernadero. FUCOA, Santiago Chile.
- López C. 2007. Evolución de las estructuras de invernadero. Estación experimental de la fundación Cajamar, Las Palmerillas.
- Bailey G.E. 1915 Vertical Farming, California. Univ. Of California.
- Arano C.R. 2007. El ABC de la Hidroponía "Técnicas para el Cultivo de Plantas sin Tierra" Tomo 1, Argentina: e-Book.
- Carrasco G. 1996. La empresa hidroponica de mediana escala la tecnica de la solucion nutritiva recirculante. Talca chile: Red de cooperacion tecnica de cultivos alimenticios.
- Arano C. R. 2007. El ABC de la Hidroponía "Técnicas de cultivo sin tierra". Tomo 5, Argentina: e-book.
- William W. M. J., Whitman C. 2000. Tecnología de la Refrigeración y Aire Acondicionado. Vol III, España: Paraninfo, 2000.
- Hewitt P.G. 2004. Física Conceptual 9a edición, México: Pearson Educación.
- Creus A. 1993. Instrumentación Industrial 4a edición. México: Alfaomega Marcombo.
- Tapia A. B. 2013. Los Invernaderos y la Agricultura Protegida en México. México: Universidad Autónoma Chapingo.
- Alpi F. T. A. 1999. Cultivo en Invernadero, España: Ediciones Mundi-Prensa Madrid.
- Sheppard N. F. 2014. Measurement, Instrumentation, and Sensors Handbook., New York: CRC Press LLC.



Figura 7. Rebosadero de solución de hidroponía.



EFFECTOS EN LA CRISTALINIDAD DEL BAGAZO DE CAÑA DE AZÚCAR (*Saccharum* spp.) POR PRETRATAMIENTOS QUÍMICOS USANDO DISPERSIÓN DE RAYOS X EN ÁNGULO AMPLIO (WAXS)

EFFECTS ON THE CRYSTALLINATION OF SUGAR CANE BAGAZO (*Saccharum* spp.) BY CHEMICAL PRETREATMENT USING X-RAY DISPERSION IN WIDE ANGLE (WAXS)

Santana-Hernández, U.¹; Quiroz-Cardoso, O.¹; Rodríguez-Hernández, A.²; Granados-Baeza, M.J.¹; Quinto-Hernández, A.^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Zacatepec, Calzada Tecnológico 27, Zacatepec, Morelos, México, 62780. ²Instituto de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, México, 04510.

*Autor de Correspondencia: alfredo.gh@itzacatepec.edu.mx

RESUMEN

Mediante la técnica de dispersión de rayos X en ángulo amplio (WAXS) usando radiación sincrotrón, se estudiaron los cambios morfológicos en la biomasa lignocelulósica producida de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) después de ser sometida a pretratamientos químicos basados en H₂SO₄ o NaOH. Perfiles unidimensionales 1D WAXS fueron obtenidos, con los cuales se determinó el porcentaje de cristalinidad en las fibras y el tamaño de cristal de la celulosa embebida en la matriz lignocelulósica. Estos parámetros proporcionan información directa sobre las modificaciones cristalinas de las muestras de bagazo estudiadas, observando que el pretratamiento con NaOH promovió una transformación de celulosa cristalina a amorfa. Los resultados son relevantes en el tema de la producción de bioetanol a partir de desechos agroindustriales.

Palabras clave: cristalinidad, WAXS, Celulosa, Deshecho agroindustrial.

RESUMEN

Using the technique of wide-angle X-ray scattering (WAXS) using synchrotron radiation, it is studied in the morphological changes in the lignocellulosic biomass produced by the sugar bagasse of *Saccharum* spp., after being a chemical pre-treatments in H₂SO₄ or NaOH. 1D WAXS one-dimensional profiles were obtained, with which the percentage of crystallinity in the fibers and the crystal size of the cellulose embedded in the lignocellulose matrix was determined. These parameters seek information on the crystalline modifications of the bagasse samples studied, observing that pretreatment with NaOH promotes a transformation of crystalline to amorphous cellulose. The results are relevant in the issue of bioethanol production from agroindustrial waste.

Keywords: crystallinity, WAXS, Agroindustrial waste.

INTRODUCCIÓN

El incremento en la demanda de energía ha inducido la búsqueda de nuevas y eficientes fuentes de energía renovables. En este aspecto, una de las alternativas emergentes es el uso de biocombustibles, de los cuales el biodiesel, biogás, y bioetanol han recibido la mayor atención. La clave para una producción efectiva de los biocombustibles es la biomasa (Mussatto *et al.*, 2010). Para el caso específico del bioetanol, las biomásas provenientes del maíz (*Zea mays* L.) y del jugo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) son los de mayor uso a nivel mundial, siendo respectivamente Estados Unidos y Brasil sus mayores productores (Claassen *et al.*, 1999; Shai-bani, Ghazvini, Andalibi y Yaghmaei, 2011). En México, el empleo de cualquiera de estas biomásas para la producción de biocombustibles es inviable pues comprometería su consumo alimenticio. Una posibilidad atractiva a explorar para producir bioetanol es el uso de desechos agroindustriales, tal como lo es el bagazo de caña de azúcar (Pandey *et al.*, 2000), debido a su alto contenido celulósico. Es claro que, teniendo una red de más de 57 ingenios azucareros en el país (<http://www.sagarpa.gob.mx>) generando este desecho al cual comúnmente no se le da uso, permitiría el desarrollo de una agroindustria con materia prima cuyo valor comercial es básicamente nulo. El desarrollo de este tipo debe ser considerada de interés público, pues puede llegar a ser un importante detonador en la economía de la nación. Los componentes principales del bagazo de caña de azúcar son hemicelulosa (25%), lignina (25%) y celulosa (Mosier *et al.*, 2005). Este último polisacárido es rodeado de un entramado jerárquico formado de lignina y hemicelulosa, que lo aísla de cualquier agente externo que induzca su degradación (Figura 1), el cual frecuentemente es llamado microfibrilla.

La problemática de producir bioetanol de residuos agrícolas se origina a partir de esta estructura, pues es indispensable usar pretratamientos para separar a la celulosa del resto de los componentes lignocelulosicos, para posteriormente ser empleada con una baja cristalinidad. Esta morfología final en la celulosa permite obtener mayores rendimientos de glucosa, pues fácilmente puede ser transformada a bioetanol a través de procesos posteriores de sacarificación y fermentación. Tradicionalmente los pretra-

tamientos empleados en el material lignocelulosico son de naturaleza física (hidrotermólisis, descarga de vapor o pulverización), química (uso de soluciones ácidas/básicas) o biológica (empleo de microorganismos), los cuales tienen un propósito específico de uso. Un pretratamiento físico involucra la reducción del tamaño y ruptura de la fibra, mientras que los pretratamientos químicos y biológicos se utilizan para degradar lignina y hemicelulosa. A la fecha, se ha determinado comúnmente la efectividad de los tratamientos en materiales lignocelulosicos al cuantificar la lignina y hemicelulosa removidas de los azúcares producidos después del pretratamiento, o del subsecuente rendimiento de etanol. Sin embargo, otra aproximación se puede establecer al identificar cambios estructurales y cristalinos en las fibras pretratadas. Con el advenimiento de nuevas técnicas basadas en radiación sincrotrón para caracterizar la cristalinidad de materiales, se hace posible estudiar los efectos de los pretratamientos directamente a nivel molecular de la celulosa, para posteriormente relacionarlos con el rendimiento de glucosa y etanol que produzca el residuo agrícola. Una de estas técnicas es la dispersión de rayos-X en ángulo amplio (*Wide Angle X-rays Scattering*, o WAXS), la cual ha sido usada previamente para estudiar la estructura cristalina de celulosa aislada (Burger *et al.*, 2010), o en tratamientos químicos (Oh *et al.*, 2005). En este contexto, el objetivo de este trabajo fue determinar los efectos en la cristalinidad de la celulosa en el bagazo de caña de azúcar por WAXS basado en radiación sincrotrón, después de aplicar soluciones de H_2SO_4 y $NaOH$ con descarga de vapor, con el fin de contribuir a entender la correlación entre la efectividad de los pretratamientos químicos

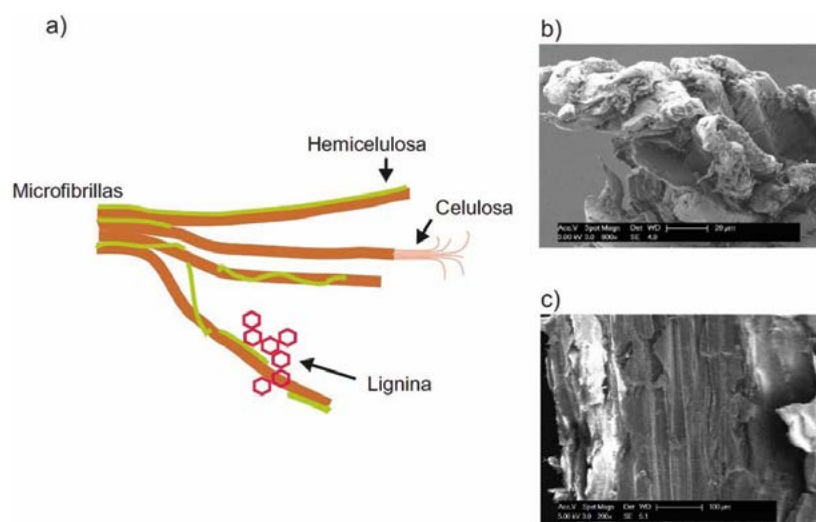


Figura 1. Aspectos morfológicos del bagazo de caña de azúcar: a) esquema de las microfibrillas, y microfotografías de la misma fibra en b) sección transversal, y c) a lo largo de la fibra.

con los cambios estructurales en las fibras y su capacidad para generar celulosa amorfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

El bagazo de caña de azúcar se recolectó del Ingenio Azucarero "Emiliano Zapata", de Zacatepec, Morelos, México. Este se pretrató en dos etapas después de secarse por 24 h con radiación solar y reducir su tamaño a fibras con diámetro de 1 mm. La primera etapa se desarrolló en condiciones ácidas con la finalidad

de remover lignina y hemicelulosa, por lo que el bagazo se colocó durante 30 minutos en recipientes de vidrio conteniendo una solución 2% V/V H_2SO_4 , a una relación de 5% P/V (masa de bagazo sin tratar/volumen de solución de H_2SO_4), seguido de una explosión de vapor a 121 °C por 30 minutos en autoclave. Se separó la fracción sólida de la líquida y se neutralizó con agua desionizada. La primera fracción se secó en estufa a 50 °C por 24 h, y la segunda se reservó para estudios posteriores. Para potencialmente generar celulosa amorfa, en la segunda etapa el procedimiento se repitió para la fracción ácida resultante, pero utilizando una solución 20% P/V NaOH a una relación 10% P/V (masa de bagazo ácido/volumen de solución básica). Todos los procedimientos se realizaron por duplicado. Los experimentos WAXS se realizaron en la estación BL23A1 SWAXS del National Synchrotron Radiation Research Center (NSRRC); en Hsinchu, Taiwán. Las características del equipo utilizado (Jeng *et al.*, 2010) y de la línea de luz BL23 SWAXS (<http://www.nsrcc.org.tw/>) se encuentran

disponibles. La longitud de onda de los rayos X usada fue de 0.1239851 nm y la distancia muestr/detector fue de 3774.639 mm. El haz de rayos X se fijó perpendicularmente a la dirección de la fibra (Figura 2), de forma tal que los ejes X y Z en los resultantes patrones bidimensionales 2D WAXS (no mostradas en este trabajo) representaron las direcciones axial y radial de la fibra, respectivamente.

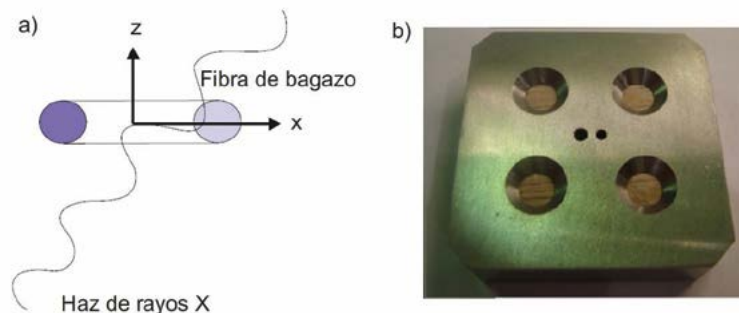


Figura 2. Mediciones WAXS: a) esquema de la posición del haz de rayos X con referencia a la dirección de la fibra y, b) bagazo insertado horizontalmente en una montura durante las mediciones.

Un detector de píxeles tipo PILATUS 1M-F fue utilizado para las mediciones 2D WAXS a través de un protocolo de adquisición de datos establecido. Así, las dispersiones detectadas del haz de rayos X fueron procesadas, manipuladas

y visualizadas usando Albula (Dectris Ltd, Baden, Suiza), para posteriormente someterse a un algoritmo de reducción de datos ad hoc (Lai *et al.*, 2005). Finalmente, las dispersiones se integran en las direcciones radial y axial para obtener perfiles unidimensionales de intensidad 1D WAXS. Las mediciones WAXS se interpretan a través del vector de dispersión de onda q ,

$$q = \frac{4\pi}{\lambda} \sin\theta \quad (\text{en nm}^{-1}) \quad (1)$$

donde θ es el ángulo de dispersión, y λ es la longitud de los rayos X (Guinier y Fournet, 1955). Obtenidos los perfiles 1D WAXS, se explora el significado físico de la información a partir de estimar la intensidad de dispersión de la muestra $I(q)$,

$$I(q) = KP(q)S(q) \quad (2)$$

donde K es una constante que engloba las propiedades del material, mientras que los otros dos términos están en función del ángulo de dispersión: $P(q)$ es un factor que describe la forma y distribución de densidad interna de los cristales bajo estudio, y $S(q)$ es un factor de estructura que indica las interacciones partícula-partícula (Glatter y Kratky, 1982). La significación de $I(q)$ reside en que permite estimar el tamaño de cristal y el porcentaje de cristalinidad del material.

Porcentaje de Cristalinidad. El porcentaje de cristalinidad nos revela el grado de cristalinidad del material (Schnablegger y Singh, 2011), pues indica la proporción del volumen de la muestra que la presenta. Suele calcularse como

$$\% \text{cristalinidad} = \frac{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} q^2 \Delta I_{\text{cristalina}} dq}{\int_{q_{\min}}^{q_{\max}} q^2 \Delta I_{\text{cristalina}} dq + \int_{q_{\min}}^{q_{\max}} q^2 \Delta I_{\text{amorfa}} dq} * 100 \quad (3)$$

En el que $\Delta I_{\text{cristalina}}$ y ΔI_{amorfa} corresponden a la dispersión proveniente de la porción cristalina y amorfa del material, respectivamente.

Tamaño de Cristal. El volumen de material en donde se aplica rigurosamente la operación de simetría de traslación es conocido como tamaño de cristal, por lo que es fácil asociarlo a los alcances del dominio donde se realiza coherentemente la dispersión de rayos X. En un predominio de cristales libres de deformación en la muestra, se estima el tamaño promedio de cristal β usando la fórmula de Scherrer,

$$\beta = \frac{K\lambda}{FWHM_{2\theta} \cos \theta} \quad (4)$$

donde K es el factor de forma del cristal (equivalente a 1, para el caso de la celulosa), λ es la longitud de onda de la radiación empleada, $FWHM_{2\theta}$ es el ancho a la altura media del pico de difracción de la muestra y θ es el ángulo de Bragg en la posición de la señal de difracción (Klug y Alexander, 1974).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La Figura 3 muestra los perfiles 1D WAXS generados para el bagazo a) sin tratar, y tratado con solución b) ácida, seguido de otra c) básica, en un rango $q \sim 0-24 \text{ nm}^{-1}$. Una comparación de los perfiles 1D WAXS de las fibras pretratadas con la no tratada reveló cambios notorios.

El perfil 1D WAXS_{radial} del bagazo sin tratar se caracterizó por una banda amplia en la región $q \sim 8-12 \text{ nm}^{-1}$, así como una señal intensa en $\sim 16 \text{ nm}^{-1}$, mientras que en el 1D WAXS_{axial} aparecieron dos remates pequeños en 12.5 y 14.5 nm^{-1} ; este último superpuesto con otro a $\sim 15.5 \text{ nm}^{-1}$. Las señales obtenidas de la muestra pretratada con H_2SO_4 disminuyen drásticamente en ambos patrones WAXS, en comparación con las pretratada con NaOH en que se observa una señal gemela a la de $\sim 16 \text{ nm}^{-1}$, centrada en 14.8 nm^{-1} (1D WAXS_{radial}).

Identificación de celulosa cristalina y amorfa

Para identificar celulosa cristalina en las fibras de bagazo de caña de azúcar, se compararon los patrones 1D WAXS (Figura 3) con la indexación monoclinica de celulosa I de Sugiyama, (Sugiyama et al., 1991), la cual reporta un espaciamiento de 0.62, 0.53 y 0.39 nm para los planos $(1\bar{1}0)$, (010) y (200) , respectivamente. Estos planos cristalinicos han sido identificados en términos de q previamente en patrones 1D WAXS en algodón puro (Elazzouzi-Hafraoui et al., 2008), los cuales se muestran en el Cuadro 1. Similarmente, la celulosa amorfa se ha identificado en el rango $q=14.2-14.5 \text{ nm}^{-1}$ (o en ángulo de dispersión $2\theta=20^\circ-22^\circ$) (Park et al., 2010) en muestras de celulosa comercial. Indicado lo anterior, la fibra no tratada (Figura 3a) reveló la presencia de estructura lamelar debido a una superposición de las bandas $(1\bar{1}0)$ y (110) , además del plano (200) de la celulosa

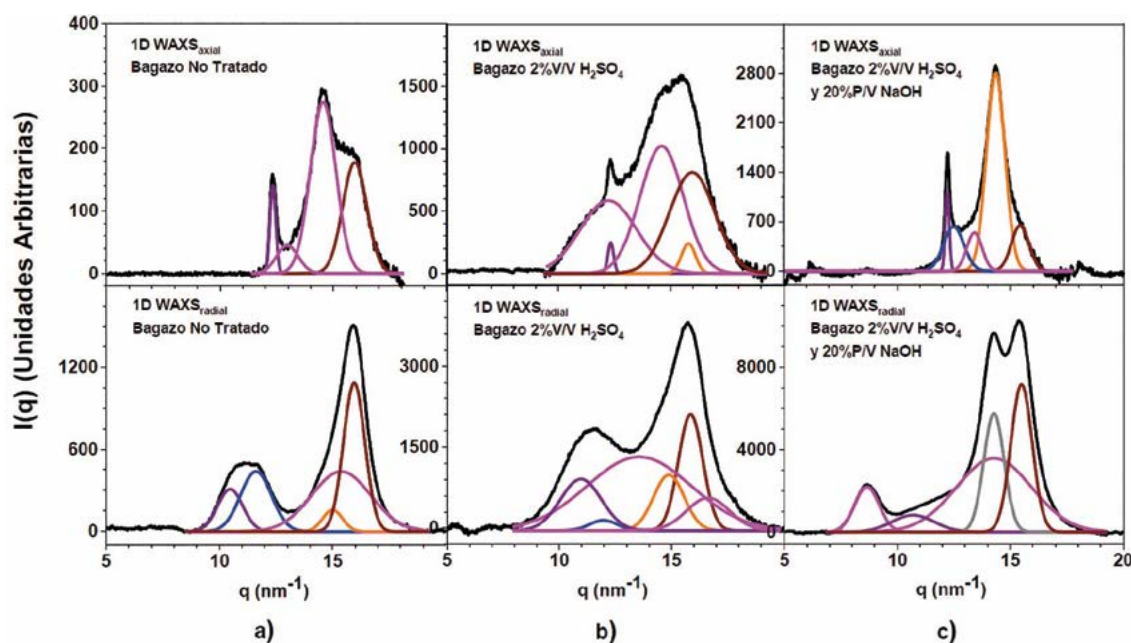


Figura 3. Perfiles 1D WAXS de las muestras tratadas químicamente: a) bagazo no tratado, b) bagazo tratado con H_2SO_4 , y c) tratado con $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{NaOH}$. Las líneas continuas en negro, púrpura, azul, naranja y café corresponden a los datos experimentales WAXS, y a los planos $(1\bar{1}0)$, (110) , (102) y (200) de la celulosa I, respectivamente. La identificación de celulosa amorfa es indicada en la línea en color gris. Aquellas en magenta se refieren a material mesomórfico.

Cuadro 1. Identificación de señales del vector q de muestras de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) observadas a través de los diagramas 1D WAXS en las direcciones axial y radial de la Figura 3.

Señales a identificar	q (nm ⁻¹)							
	(1 $\bar{1}$ 0)		(110)		(200)		Amorfo I	
Referencia	10.60 ^a		11.90 ^a		16.50 ^a		14.20 – 14.50 ^b	
Tratamiento/Dirección	Axial	Radial	Axial	Radial	Axial	Radial	Axial	Radial
Muestra No Tratada		10.71	12.34	11.72	15.93	15.85	14.54	14.62
Pretratamiento con H ₂ O ₄		10.79	12.32	11.63	15.79	15.78	14.61	14.39
Pretratamiento con NaOH			12.25		15.42	15.50	14.35	14.27

^a Señales observadas en celulosa cristalina de algodón puro (Ip), (Elazzouzi-Hafraoui et al., 2008).

^b Señales observadas de celulosa amorfa en muestra comercial (Park et al., 2010).

cristalina, al observarse la señal intensa a 15.93 nm⁻¹. Las soluciones ácidas y básicas lograron disolver la matriz formada por la lignina y la hemicelulosa de la muestra sin tratar, por lo que se espera que las señales que revelan su cristalinidad (Figura 3a) se modifiquen.

La pérdida de cristalinidad a nivel molecular se percibe en el incremento de las bandas correspondientes a material mesomórfico, siendo especialmente notorio en la fibra tratada con H₂SO₄ (Figura 3b). Esto no necesariamente sugiere la aparición de celulosa amorfa, sino que la fibra en su conjunto se transformó a un material predominantemente con esta condición. La presencia de celulosa amorfa en el bagazo en realidad se evidencia con la aparición de una nueva señal en $q \sim 14.5$ nm⁻¹ del patrón 1D WAX radial de la muestra tratada con solución de NaOH (línea en gris de la Figura 3c), sugiriendo así un cam-

bio estructural en esta dirección de la fibra. Una identificación completa para los planos cristalinos de la Celulosa I, y de la celulosa amorfa, en términos de q se presenta en el Cuadro 1.

Tamaño de cristal y Porcentaje de cristalinidad

Identificadas la señales de q para la celulosa cristalina y amorfa en los perfiles 1D WAXS, se procedió a estimar porcentajes de cristalinidad y tamaños de cristal para las diferentes fibras. Para calcular el porcentaje de cristalinidad se consideraron todas las señales observadas en los patrones 1D WAXS, haciendo uso de la Ecuación (3); mientras que para para el tamaño de cristal se eligió la señal más predominante a lo largo de las direcciones radial y axial de la fibra, la cual se identificó en el plano (200). La posición de este plano permite estimar el tamaño de cristal usando la Ecuación (4). Los patrones 1D WAXS de las muestras fue-

ron analizadas y deconvolucionadas empleando PeakFit (Systat Software) para estimar ambos parámetros. Los valores obtenidos de estos se presentan en el Cuadro 2.

El cuadro anterior sugiere que en todas las muestras existe una mayor tasa de cristalinidad en dirección radial que en la axial, lo cual es esperado dada la estructura jerárquica de las microfibrillas, pues presentan arreglos de planos paralelos en dirección radial. Después de aplicado el pretratamiento ácido se nota un ligero decremento en el porcentaje de cristalinidad de las fibras, aun con la aparición de material mesomórfico adicional, y otro aún más notorio en el tamaño de cristal. Esto indica que la remoción de una porción de la matriz lignocelulosa no afectó significativamente la cristalinidad de las fibras, aunque sí logró hacerlo respecto a su tamaño de partícula. Sin embargo, al aplicarse el pretratamiento con NaOH, es

Cuadro 2. Porcentaje de cristalinidad y tamaño de cristal evaluadas para las diferentes muestras de bagazo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) de este estudio.

Muestra	Dirección Radial			Dirección Axial		
	Posición (200) (q nm ⁻¹)	Tamaño de cristal (nm)	% Cristalinidad	Posición (200) (q nm ⁻¹)	Tamaño de cristal (nm)	% Cristalinidad
No tratada	15.93	4.60	90.94	15.85	4.73	47.24
H ₂ SO ₄	15.78	3.99	88.42	15.79	3.85	46.56
H ₂ SO ₄ /NaOH	15.50	5.12	55.83	15.42	6.29	25.94

interesante observar una reducción drástica en el porcentaje de cristalinidad en ambas direcciones, y un incremento en el tamaño de cristal (~12% en la dirección radial, y 33% en la dirección axial, con respecto a la fibra no tratada). La baja de cristalinidad en esta última etapa sugiere una transformación efectiva de celulosa cristalina a amorfa, inducida por la solución de NaOH. El aumento en el tamaño de cristal después de haber ocurrido la deslignificación en medio básico se explica al considerarse una posible recristalización de la celulosa remanente, como se ha observado anteriormente en celulosa natural (Hermans *et al.*, 1950; Kroon *et al.*, 1996). Los resultados obtenidos sugieren que este último pretratamiento permitió que una gran porción de la celulosa cristalina de la muestra original fuese transformada a celulosa amorfa, a lo largo de la fibra, acompañada de una recristalización paralela.

CONCLUSIONES

La cristalinidad es un parámetro importante en el pretratamiento de materiales lignocelulósicos con destino a la producción de bioetanol, pues afecta directamente el rendimiento de este. Aquí, se ha explorado el uso de WAXS basado en radiación sincrotrón para abordar esta situación en el pretratamiento ácido y básico de bagazo de caña de azúcar. Los pretratamientos han permitido observar efectos importantes en el porcentaje de cristalinidad y tamaño de cristal de la celulosa en las fibras, siendo evidente tales efectos en el pretratamiento básico.

AGRADECIMIENTOS

Al personal de la estación BL23A1 SWAXS del NSRRC por las facilidades otorgadas durante la realización de estos experimentos. Este trabajo fue financiado por el Tecnológico Nacional de México (Proyecto de Investigación 5494.14-P).

LITERATURA CITADA

- Burger C., Hsiao B.S., Chu B. 2010. Preferred Orientation in Polymer Fiber Scattering. *Polymer Reviews* 50(1): 91-111.
- Claassen P.A.M., van Lier J.B., Contreras A.M.L., van Niel E.W.J., Sijtsma L., Stams, A.J.M., Weusthuis R.A. 1999. Utilisation of biomass for the supply of energy carriers. *Applied Microbiology and Biotechnology* 52(6): 741-755.
- Elazzouzi-Hafraoui S., Nishiyama Y., Putaux J.L., Heux L., Dubreuil F., Rochas C. 2008. The shape and size distribution of crystalline nanoparticles prepared by acid hydrolysis of native cellulose. *Biomacromolecules* 9(1): 57-65.
- Glatter O., Kratky O. 1982. Small angle X-ray scattering. Academic Press. 119-123p.
- Guinier A., Fournet A. 1955. Small angle X-ray scattering. (1st edition ed.). John Wiley and Sons. 126-130p.
- Hermans P.H., Vermaas D., Weidinger A. 1950. Recrystallization of Regenerated Cellulose Upon Mercerization. *Nature* 165(4189): 238-238.
- Jeng U.S., Su C.H., Su C.J., Liao K.F., Chuang W.T., Lai Y.H., Liang K.S. 2010. A small/wide-angle X-ray scattering instrument for structural characterization of air-liquid interfaces, thin films and bulk specimens. *Journal of Applied Crystallography* 43: 110-121.
- Klug H. P., Alexander L.E. 1974. X-ray diffraction procedures for polycrystalline and amorphous materials (2nd edition ed.). John Wiley and Sons. p.
- KroonBatenburg L.M.J., Bouma B., Kroon J. 1996. Stability of cellulose structures studied by MD simulations. Could mercerized cellulose II be parallel? *Macromolecules* 29(17): 5695-5699.
- Lai Y.H., Sun Y.S., Jeng U., Huang Y.S., Song Y.F., Dronyak R., Liang K.S. 2005. A new small angle X-ray scattering station at NSRRC. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research Section B-Beam Interactions with Materials and Atoms* 238(1-4): 205-213.
- Mosier N., Wyman C., Dale B., Elander R., Lee Y.Y., Holtzapple M., Ladisch M. 2005. Features of promising technologies for pretreatment of lignocellulosic biomass. *Bioresource Technology* 96(6): 673-686.
- Mussatto S.I., Dragone G., Guimaraes P.M.R., Silva J.P.A., Carneiro L.M., Roberto I. C., Teixeira, J.A. 2010. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. *Biotechnology Advances* 28(6): 817-830.
- Oh S.Y., Yoo D.I., Shin Y., Kim H.C., Kim H.Y., Chung Y.S., Youk J.H. 2005. Crystalline structure analysis of cellulose treated with sodium hydroxide and carbon dioxide by means of X-ray diffraction and FTIR spectroscopy. *Carbohydrate Research* 340(15): 2376-2391.
- Pandey A., Soccol C.R., Nigam P., Soccol V.T. 2000. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. *Bioresource Technology* 74(1): 69-80.
- Park S., Baker J.O., Himmel M.E., Parilla P.A., Johnson D.K. 2010. Cellulose crystallinity index: measurement techniques and their impact on interpreting cellulase performance. *Biotechnology for Biofuels* 3.
- Schnablegger H., Singh Y. 2011. The SAXS guide: Getting acquainted with the principles (2nd edition ed.). Anton Paar GmbH. p.
- Shaibani N., Ghazvini S., Andalibi M.R., Yaghmaei S. 2011. Ethanol production from sugarcane bagasse by means of enzymes produced by solid state fermentation method. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 59: 1836-1839.
- Sugiyama J., Vuong R., Chanzy H. 1991. Electron-Diffraction Study on the 2 Crystalline Phases Occurring in Native Cellulose from an Algal Cell-Wall. *Macromolecules* 24(14): 4168-4175.

SISTEMA AUTOMÁTICO DE SELECCIÓN DE LIMÓN (*Citrus Latifolia Tanaka*) BASADO EN DISCRIMINACIÓN POR COLOR

AUTOMATIC SYSTEM FOR LIME SELECTION (*Citrus Latifolia Tanaka*) BASED ON COLOR DISCRIMINATION

Herrera-Aguilar, I.; Sandoval-González, O.O.; Malagón González, F.; Águila-Rodríguez, G.;
González-Sánchez, B.E.; Flores-Cuautle, J.J.A.

Tecnológico Nacional de México - Instituto Tecnológico de Orizaba, Av. Oriente 9 No 852, Col.
Emiliano Zapata, Orizaba, Veracruz, México. C.P. 94320.

***Autor de correspondencia:** iherrera@ito-depi.edu.mx

RESUMEN

Se presenta un sistema automático basado en el procesamiento digital de imágenes para la selección en post-cosecha de limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*), que es el de mayor producción en México. Una cámara de inspección establece las condiciones necesarias para el procesamiento de imágenes realizando el análisis y segmentación color, así como también el análisis morfológico del fruto, el cual determina sus características y calidad. Es un sistema de bajo costo debido a que soporta su operación en una computadora personal y una cámara web de alta definición.

Palabras clave: post-cosecha, RGB, HSV, calidad, lima persa

ABSTRACT

An automatic system based on the digital processing of images for post-harvest selection of Persian lime (*Citrus Latifolia Tanaka*), which of highest production in México, is presented. An inspection camera establishes the conditions necessary for the processing of images performing the analysis and color segmentation, as well as the morphological analysis of the fruit which determines its characteristics and quality. It is a low-cost system because its operation is supported by a personal computer and a high-definition web camera.

Keywords: post-harvest, RGB, HSV, quality, Persian lime.



Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 73-78.

Recibido: julio, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, México es uno de los principales productores de cítricos en el mundo y se ubica entre los cinco primeros productores de limón y lima (FAO, 2012, 2015). En particular, tres variedades son producidas en el país: limón agrio o mexicano (*Citrus Aurantifolia Christm*, 51 %), limón persa (*Citrus Latifolia Tanaka*, 45 %) y limón italiano (*Citrus Limon Burn*, 4 %) (FND, 2014). Además, es importante mencionar que una parte importante de esta producción está encaminada a la exportación, con 90 % a Estados Unidos y el resto a Europa y Japón, principalmente (Curti Diaz *et al.*, 2000; FND, 2014).

Alcanzar estos niveles de exportación de un producto requiere de un estricto proceso de selección, especialmente en los países con economías emergentes donde el trabajo es realizado manualmente. En particular, para los cítricos el trabajador tiene como herramientas principales su experiencia, vista y tacto para los frutos. Este tipo de actividades basadas en la percepción humana trae consigo problemas tales como diferentes criterios de selección, lo que conlleva a una falta de uniformidad y calidad en el producto. Ocurren también cambios en el criterio de selección cuando cambia el trabajador o debido al cansancio por la repetición monótona de una misma actividad o en la vista, entre otros (Brandt *et al.*, 2004; Tanaka *et al.*, 2012; Zhao y Rong, 2013). El control de calidad en la exportación de limones es una actividad multicriterio; aspectos tales como color uniforme, tonalidad correcta, tamaño estándar, integridad y firmeza del fruto, limpieza, etcétera, son imprescindibles (Curti Diaz *et al.*, 2000; SAGARPA, 2014). Como todo fruto natural, el limón posee variaciones en forma, tonalidad y tamaño que hacen el proceso de selección complejo. Para facilitar esta tarea, las empacadoras tradicionales de la Zona Centro de Veracruz, México han desarrollado una metodología para la selección (Figura 1). Es importante notar que esta metodología está basada en los años de experiencia que se tienen como exportadores del producto. El proceso de recolección se hace manualmente y es la experiencia del trabajador la que determina si es el momento o no de cosechar el fruto, y está comúnmente acompañado de ramas y hojas que son removidas antes de un proceso de lavado. Enseguida, una primera inspección durante este proceso elimina el limón maltratado y/o fuera del rango de tonalidad verde que se desea. El proceso continúa en una banda transportadora donde los trabajadores eliminan el producto que no cumple con los estándares de color. Es importante notar que el limón no debe presentar una coloración amarillenta que indica el nivel de maduración del producto. Posteriormente pasa a un proceso de encerado para evitar su deterioro y darle un brillo al fruto, y

es clasificado mecánicamente por tamaño, el cual depende de su diámetro. Finalmente, el producto es empacado para su refrigeración y distribución. Esta metodología empírica tiene una correspondencia a la descrita en Ministry of Fisheries (2002).

La parte del proceso más sensible a errores debido a la percepción humana es la parte de selección por coloración; aun cuando los trabajadores han recibido una capacitación, no están exentos de dejar pasar un fruto que no cumpla con las características. El problema de ello radica en los tiempos de distribución, ya que el limón tarda semanas en llegar a su destino y en ese tiempo puede madurarse.

Un fruto que se madura puede echar a perder todo un embarque de producto, con pérdidas econó-

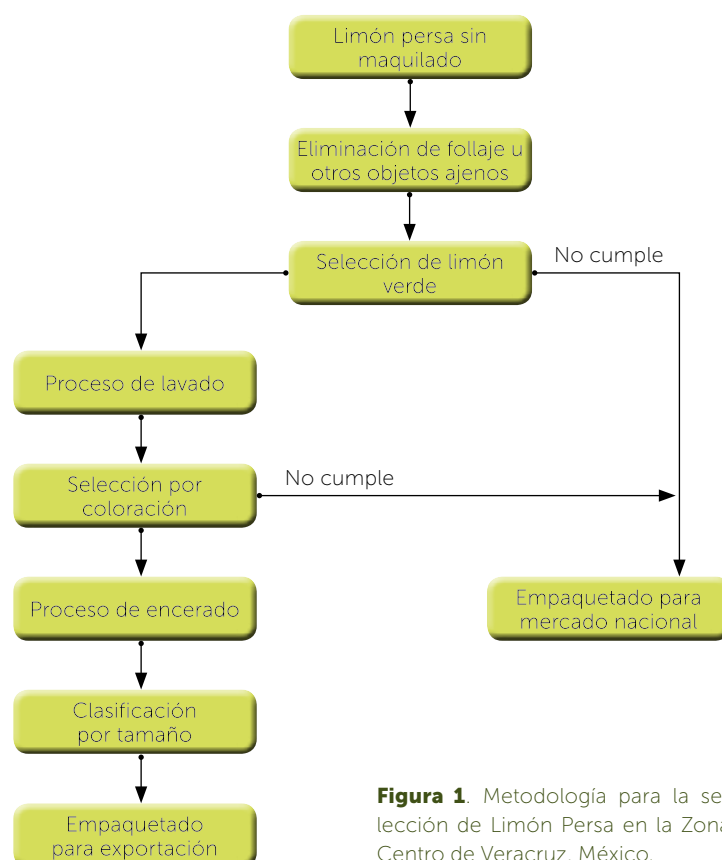


Figura 1. Metodología para la selección de Limón Persa en la Zona Centro de Veracruz, México.

micas para el productor. El procesamiento digital de imágenes tiene ya una historia dentro de las aplicaciones a la agricultura y al campo; un primer concentrado de información trata sobre su uso en el procesamiento de imágenes satelitales (Nagy, 1972). Posteriormente se encuentran trabajos sobre la medición del color en frutos (Wroistad, 1976). Información acerca de la forma se utilizó para la identificación de hierba (Petry y Kuhbauch, 1989) y se puntualiza el aspecto de uso de color en aplicaciones de evaluación de frutos en (McGuire, 1992; Voss, 1992). Sobre la medición de calidad de frutos y vegetales el trabajo de (Abbott, 1999) presenta una serie de técnicas y parámetros a considerar, y más recientemente Saldaña *et al.* (2013). Al

final, el procesamiento de imágenes utilizado para la evaluación de frutos en postcosecha es un trabajo que se ha ido mejorando conforme la tecnología avanza (Iqbal y Gopal, 2014), desde una medición de color con sensores electrónicos hasta el uso de cámaras híper-espectrales que utilizan rayos-X, luz ultravioleta, luz cercana al infrarrojo (Fernández *et al.*, 2014; Cortés *et al.*, 2016) e incluso láser (Lorente *et al.*, 2015). Toda esta tecnología produce buenos resultados; sin embargo, no es tecnología económica o accesible al productor con poca superficie de cultivo. En este trabajo se presenta una alternativa para la solución del problema de selección de limón para su exportación, atacando la parte más sensible al error humano por medio del uso de cámaras web y computadoras personales con el

objetivo de reducir costos. En este sentido, incluso el software desarrollado para la realización final de la tarea es mediante el uso de software libre. El principal criterio para la selección de frutos está basado en la tonalidad del color; en este sentido, una transformación del espacio RGB a HVS es realizada obteniendo una mayor información y alcanzando una mayor robustez en el algoritmo desarrollado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para las pruebas se utilizaron frutos comerciales de Orizaba, Veracruz, México, de la variedad limón persa y frutos provistos por productores de la región de Cuitlahuac, Veracruz de la misma variedad. Se desarrolló un sistema mecatrónico que permite la selección automática de los frutos. El sistema

está constituido por las etapas mostradas en la Figura 2.

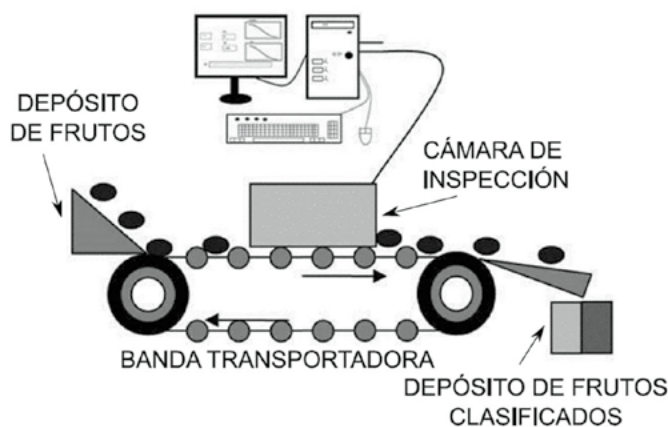


Figura 2 Sistema automático de selección de frutos por coloración.

De entrada, un depósito de frutos ya lavados y sin maleza, los cuales son transportados por una banda construida por rodillos; un tope mecánico evita que los limones se encimen unos sobre otros en la banda transportadora. El hecho de utilizar rodillos

en la banda transportadora tiene dos aspectos importantes a denotar; el primero radica en el hecho que impide el deslizamiento del limón sobre la misma banda; el segundo, y más importante, permite que los limones rueden sobre su propio eje, lo que permite una observación de la totalidad de la superficie de la epidermis del fruto. Los limones pasan a través de una cámara de inspección donde se lleva a cabo el proceso de selección. Finalmente, la banda termina en un clasificador que por medio de la activación de una válvula electrónica separa a los limones de acuerdo con su tonalidad. El proceso dentro de la cámara de selección requiere de una serie de procedimientos preestablecidos para realizar satisfactoriamente el proceso de selección: Control de Iluminación, Segmentación de Color, Separación por regiones de Interés, Detección de contornos y Detección de Círculos.

Control de iluminación. Para que el procesamiento de imágenes alcance mayor eficiencia es altamente recomendable establecer condiciones de entorno que reduzcan las fuentes de error que conducen a un sobreprocesamiento de imagen. En particular, dos factores son importantes. Primeramente, la selección del fondo de imagen que debe permitir una selección sencilla de los objetos a procesar (en el presente caso se seleccionó un fondo claro que aumente la iluminación en la escena) y que contraste con los limones. Posteriormente se utilizó iluminación por LEDs de alta intensidad que garantizaran una iluminación estable y constante.

Segmentación de Color. Considerando que el análisis de color es la parte fundamental en la selección de frutos se deben buscar las propiedades de imagen que ofrezcan una mayor selectividad. Diferentes métodos se han desarrollado que van desde variaciones empíricas del espacio de color hasta inteligencia artificial con reconocimiento de patrones. Se debe estar consciente que la segmentación de color separa objetos sin conocimiento previo de alguna otra característica, mientras que el reconocimiento de patrones sí lo requiere (Báez Rojas *et al.*, 2004). La información provista por la mayoría de las cámaras web corresponde al formato RGB. La imagen es representada por tres matrices que corresponden a los tres colores básicos (R-Red, G-Green, B-Blue); sin embargo, esta representación no aporta información sobre el tono (Hue) y la saturación (Chroma) que pueden servir más para los objetivos perseguidos. Es por lo que una transformación al sistema HSV (Hue-Saturation-Value) provee información pertinente. La Figura 3 muestra los resultados.

Separación por regiones de interés. La velocidad de ejecución de una tarea depende del tiempo de ejecución de una operación por el número de operaciones. Tecnológicamente, el hardware ha avanzado en reducir el tiempo de ejecución, mientras que el número de operaciones depende de la tarea y habilidad del programador. En procesamiento de imágenes existe un compromiso entre la calidad de la imagen y la



Figura 3. Imagen en el espacio RGB (a) e imagen en el espacio HSV (b).

velocidad de ejecución; esto es debido a que a mayor calidad de imagen mayor es el número de operaciones que tiene que realizar el software. Para simplificar esto se trabaja en regiones de interés (ROI), que es el equivalente a trabajar con múltiples imágenes pequeñas, pero que

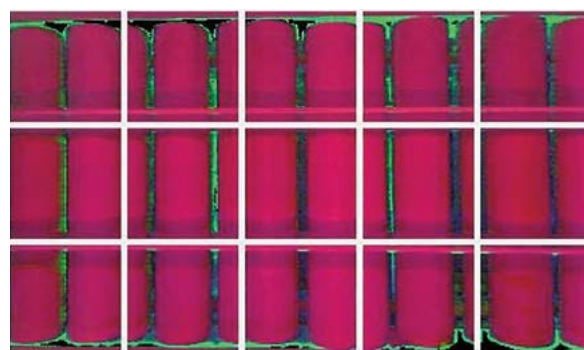


Figura 4. División de las imágenes en ROI (Regions of Interest).

corresponden a las zonas útiles para la búsqueda de limones. La Figura 4 muestra cómo se dividió la imagen que corresponde a los rodillos, formando una rejilla de 3×5 cm, de manera que un fruto se busca en la zona contigua a la dirección de avance y no en toda la imagen.

Detección de contornos. Con la intención de reducir el costo de procesamiento, un filtrado para la detección de contornos es aplicado. La literatura indica que la selección del filtro depende de la aplicación deseada (Heath *et al.*, 1998). Para este proyecto se utilizó el filtro de Canny para la detección de contornos (Canny, 1986).

Detección de círculos. Debido a la geometría propia del limón y con el fin de reducir aún más el proceso de evaluación de tonalidad, una etapa de detección de círculos fue utilizada. Mediante el uso de la transformada de Hough Adaptiva es posible realizar la detección de formas en 2D (Illingworth y Kittler, 1987). El uso de información *a priori* es fundamental para el buen funcionamiento de esta etapa, particularmente cuando se tiene un estimado del radio del círculo que se está buscando. La Figura 5 muestra un ejemplo de los resultados obtenidos en la detección de círculos en limones depositados sobre la banda transportadora.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se construyó el sistema propuesto, tal como se muestra en la Figura 6, donde se observan las dos guías de limón que permiten la separación



Figura 5. Detección de círculos sobre la banda transportadora.

de los mismos conforme avanzan en la banda transportadora y que genera el número de renglones elegido para la rejilla de Regiones de Interés.

Con el objeto de monitorear el proceso de selección de limón se desarrolló una interfaz gráfica (Figura 7).

El proceso de selección aplicado y visto en la interfaz es el siguiente. Primero, una imagen es tomada de la banda transportadora dentro de la cámara de inspección. Una detección de contornos y círculos es aplicada hasta detectar un limón dentro de una sección de la rejilla. La imagen es procesada por segmentación de color, aplicando una transformación RGB a HSV. Así, sucesivamente se va registrando diferente toma de un limón en su paso por la cámara de inspección. Se realiza un promedio de la tonalidad de cada una de las tomas del



Figura 6. Sistema de selección de limón persa por tonalidad.

limón, dando por resultados una tabla similar a la que indica resultado en la interfaz. La toma de limón clasificado como bueno tiene un promedio superior a 200, el cual indica el color verde y un promedio inferior a 100



Figura 7. Interfaz de monitoreo del proceso de selección.

cuando es tonalidad amarilla. Pueden realizarse dos procesos de selección que dependen de los criterios del productor. En una alternativa se promedian las tomas y se seleccionan con base en un promedio total superior a 200 o, como segunda alternativa, se selecciona al limón, cuyo promedio sea superior en las cinco tomas.

CONCLUSIONES

Se presenta una alternativa económica basada en procesamiento de imágenes en tiempo real que utiliza únicamente una computadora personal, una cámara web y una caja cerrada con iluminación controlada como cámara de inspección; este dispositivo fue desarrollado con la intención de dotar a los productores en pequeño, de un equipo que les ayude en su tarea de selección con el fin de promover la exportación e incrementar sus beneficios. El criterio de selección "rechazo", basado en el promedio de toma, puede ser tan restrictivo si se evalúa por toma, o permisivo si se considera el promedio total, y el que determina esta condición es el criterio del productor. Como trabajo futuro en la intención de alcanzar los volúmenes de producción de maquinarias sofisticadas y caras se considera la utilización de múltiples cámaras especializadas de alta velocidad, dado que es la velocidad de adquisición de imagen quien limita la velocidad de selección.

LITERATURA CITADA

- Abbott J. 1999. Quality measurement of fruits and vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, 15(3), 207-225. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(98\)00086-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(98)00086-6)
- Báez-Rojas J.J., Guerrero M.L., Conde-Acevedo J., Padilla-Vivanco A., Urcid-Serrano G. 2004. Segmentación de imágenes de color. *Revista Mexicana de Física*, 50(6), 579-587. Retrieved from <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/570/57050605.pdf>
- Brandt T., Stemmer R., Rakotonirainy A. 2004. Affordable Visual J Driver Monitoring System for Fatigue and Monotony *.
- Canny J. 1986. A computational approach to edge detection. *IEEE Transactions on Pattern Anal. Mach. Intell.*, 8(6), 679-698. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1109/TPAMI.1986.4767851>
- Cortés V., Ortiz C., Aleixos N., Blasco J., Cubero S., Talens P. 2016. A new internal quality index for mango and its prediction by external visible and near-infrared reflection spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 118. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2016.04.011>
- Curti-Díaz S., Loredó-Salazar X., Díaz-Zorrilla U., Sandoval-Rincón J.A., Hernández-Hernández J. 2000. *TECNOLOGÍA PARA PRODUCIR LIMÓN PERSA* (Libro Técnico). Veracruz, México: INIFAP-CIRGOC Campo Experimental Ixtacuaco.
- FAO. 2012. Citrus fruit, Fresh and Processed, Annual Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Citrus/Documents/CITRUS_BULLETIN_2012.pdf
- FAO. 2015. Citrus Fruits Statistics 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from www.fao.org/3/a-i5558e.pdf
- Fernández R., Salinas C., Montes H., Sarria J. 2014. Multisensory System for Fruit Harvesting Robots. Experimental Testing in Natural Scenarios and with Different Kinds of Crops. *Sensors*, 23885-23904. <https://doi.org/10.3390/s141223885>
- FND Financiera Nacional de desarrollo Agropecuario, Rural, F. y P. 2014. Panorama del Limón. SHCP Secretaría de Hacienda y Crédito Público.
- Heath M., Sarkar S., Sanocki T., Bowyer K. 1998. Comparison of edge detectors: a methodology and initial study. *Proceedings CVPR IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 69(1), 143-148. <https://doi.org/10.1109/CVPR.1996.517066>
- Illingworth J., Kittler J. 1987. The adaptive Hough Transform. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-9(5), 690-698. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.1987.4767964>
- Iqbal S., Gopal A. 2014. Automated Quality Inspection of Citrus Fruits-A Review. In 2014 ICAM International Conference on Advanced and Agile Manufacturing, (pp. 1-17). Rochester: ISPE USA and ISAM USA.
- Lorente D., Zude M., Idler C., Gómez-Sanchis J., Blasco J. 2015. Laser-light backscattering imaging for early decay detection in citrus fruit using both a statistical and a physical model. *Journal of Food Engineering*, 154, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.01.004>
- McGuire R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, 27(12), 1254-1255.
- Ministry of Fisheries C.L. 2002. Postharvest Care and Market Preparation. *Postharvest Handling Technical Bulletin*.
- Nagy G. 1972. Digital Image-Processing Activities in Remote Sensing for Earth Resources. *Proceedings of the IEEE*, 60(10), 1177-1200. <https://doi.org/10.1109/PROC.1972.8879>
- Petry W., Kuhbauch W. 1989. Automatisierte unterscheidung von unkrauten nach formparametern mit hilfe der quantitativen bild analyse. *Agronomy Crop Sci.*, 163, 345-351.
- SAGARPA. 2014. PC-029-2005 Pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Selecta en Limón Persa. México, D.F.:SAGARPA-BANCOMEXT-SE.
- Saldaña E., Siche R., Luján M., Quevedo R. 2013. Review : computer vision applied to the inspection and quality control of fruits and vegetables. *Revisão : visão computacional aplicada à inspeção e ao controle da qualidade de frutas e verduras. Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, 16(4), 254-272. <https://doi.org/10.1590/S1981-67232013005000031>
- Tanaka M., Shigihara Y., Ishii A., Funakura M., Kanai E., Watanabe Y. 2012. Effect of mental fatigue on the central nervous system: an electroencephalography study. *Behavioral and Brain Functions*, 8(1), 48. <https://doi.org/10.1186/1744-9081-8-48>
- Voss D.H. 1992. Relating Colorimeter Measurement of Plant Color to the Royal Horticultural Society Colour Chart. *HortScience*, 27(12), 1256-1260.
- Wroistad R.E. 1976. Color and Pigment Analyses in Fruit Products. *Bulletin Agriculural Experiment Station. Oregon State University*.
- Zhao X., Rong J. 2013. The Relationship between Driver Fatigue and Monotonous Road Environment. In W. Wang & G. Wets (Eds.), *Computational Intelligence for Traffic and Mobility* (pp. 19-36). Paris: Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-91216-80-0_2

DRONES: UNA NUEVA TECNOLOGÍA PARA EL ESTUDIO Y MONITOREO DE FAUNA Y HÁBITATS

DRONES: A NEW TECHNOLOGY TO STUDY AND MONITOR WILDLIFE AND HABITATS

Mandujano, S.^{1*}; Mulero-Pázmany, M.²; Rísquez-Valdepeña, A.³

¹Red Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología A.C., km 2.5 Carretera Antigua Coatepec No. 351, Congregación del Haya, Xalapa 91070, Ver., México. ²Universidad Técnica Particular de Loja. San Cayetano Alto, Loja, Ecuador. ³Secretaría Técnica, Instituto de Ecología A.C., km 2.5 Carretera Antigua Coatepec No. 351, Congregación del Haya, Xalapa 91070, Ver., México.

***Autor responsable:** salvador.mandujano@inecol.mx

RESUMEN

La investigación y manejo de fauna silvestre requiere un monitoreo constante del estado de las poblaciones y de sus hábitats. Esta información es necesaria para detectar posibles amenazas y llevar a cabo eficazmente el trabajo de manejo y conservación. En los últimos 15 años se ha asistido a la incorporación de una nueva herramienta de monitoreo aéreo de fauna silvestre, coloquialmente denominado "dron", y en este trabajo se hace una breve descripción de éstos y su aplicación en el monitoreo de fauna silvestre. El propósito de ello es presentar las ventajas, pero también alertar acerca de sus posibles limitaciones.

Palabras clave: aviones, helicópteros, ventajas, limitantes.

ABSTRACT

The study and management of wildlife requires constant monitoring of the state of the populations and their habitats. This information is necessary to detect possible threats and to carry out effectively the management and conservation work. In the last 15 years the incorporation of a new tool of aerial monitoring of wildlife, colloquially named "drones", has been seen, and in this study a brief description of these and their application in wildlife monitoring is made. The purpose is to present the advantages but also alert about their possible limitations.

Keywords: planes, helicopters, advantages, limitations.

INTRODUCCIÓN

En el estudio, conservación y manejo de las especies de la vida silvestre se requiere el monitoreo para conocer el estatus y la tendencia de la biodiversidad, así como las posibles causas que pudieran afectarlas, como cambios en el hábitat debido a la deforestación y fragmentación, agricultura, ganadería, introducción de especies exóticas y cacería furtiva (Thompson, 2004). Como parte de esos programas de monitoreo, se aplican diversos métodos de muestreo en campo, entre los que destacan: el conteo directo de animales en líneas de recorrido, la captura-recaptura en diferentes tipos de trampas, redes y cámaras-trampa; además, ha sido tradicional el empleo de métodos que involucran en rastreo para contar huellas, excrementos, madrigueras y cualquier otra evidencia de la presencia de las especies de interés (Sutherland, 2006).

La aplicación de cualquiera de estos métodos implica un intenso trabajo en campo, lo cual involucra desde la compra del equipo básico hasta los gastos de viaje del personal en los muestreos. En consecuencia, los costos pueden ser muy variables, pero en general son altos, dependiendo entre otros factores de la superficie del área de estudio; por ejemplo, en Áreas Naturales Protegidas (ANP) y en Unidades para la Conservación y Uso Sustentable de la Vida Silvestre (UMA), las especies involucradas, el personal disponible y el método seleccionado. En los últimos 15 años se ha asistido a la incorporación de una nueva herramienta de monitoreo aéreo de fauna silvestre, los coloquialmente denominados "drones" (Anderson y Gaston, 2013; Hardin y Hardin, 2010; Jones *et al.*, 2006; Koh y Wich, 2012), y por su importancia actual se hace una breve descripción de su aplicación al monitoreo de fauna silvestre, además de algunas aplicaciones en México, con el fin de presentar sus ventajas y posibles limitaciones.

¿Qué son los drones?

Los drones son conocidos por las siglas UAS de "*Unmanned Aircraft Systems*" en inglés, que se traduce como "sistemas aéreos no tripulados", es decir, aeronaves que tienen la capacidad de volar sin tripulación a bordo y de modo autónomo (Mulero-Pázmány *et al.*, 2015). Las principales ventajas que ofrecen frente a otros métodos de monitoreo de fauna son: 1) una alta resolución espacial, ya que el vuelo a baja altura permite tomar imágenes con gran detalle, y 2) una elevada resolución temporal, ya que su facilidad de despliegue permite realizar vuelos con la frecuencia deseada (Lisein *et al.*, 2013; Watts *et al.*, 2010). Además, dada la precisión de los sistemas de navegación es posible repetir los vuelos de modo sistemático y así comparar las imágenes de distintos momentos utilizando herramientas de software específicas, lo cual resulta más fiable que, por ejemplo, un censo visual desde una aeronave tripulada. El objetivo del uso de drones suele ser la adquisición de datos, para lo cual se equipa a la aeronave con una "carga útil" que consiste en un grupo de sensores: cámaras de fotos y/o video (en espectro visible, térmico o multiespectral), sensores meteorológicos o dispositivos para la toma de muestras. El funcionamiento de la carga útil se puede controlar desde la estación de control donde también se reciben

los datos que se van adquiriendo en vuelo.

Básicamente, los drones están formados por dos partes: un vehículo aéreo y una estación de control en tierra. La aeronave, generalmente de ala fija (avión) o rotatoria (helicóptero o multicóptero) es propulsada por un motor, y está dotada de distintos sistemas que permiten enviar información hacia la estación de control (telemetría) o recibir órdenes desde la misma (tele comando). La aeronave va equipada con GPS (geoposicionador) y otros sensores de posición y con un pequeño ordenador a bordo denominado autopiloto que se encarga de que vuele de forma estable a las localizaciones programadas. La estación de control en tierra incluye un ordenador donde se programan y se realizan todas las operaciones del vuelo y los sistemas para enviar y recibir información de la aeronave (transmisores y antenas en las bandas de frecuencias adecuadas).

¿Qué tipos de drones hay?

El origen de los drones tuvo lugar en el ámbito militar, siendo este aún el campo que lidera el desarrollo tecnológico, y en cuya industria se producen los sistemas más sofisticados. No obstante, la creciente disponibilidad y moderación del precio de los componentes microelectrónicos y sensores (placas Arduino, GPS, amplificadores de señal, cámaras) unidos a la popularidad del software libre y al éxito de foros y redes sociales donde se comparte información entre interesados, han facilitado que los equipos de aeromodelismo moderno hayan evolucionado hacia lo que podríamos llamar "drones caseros" que presentan

capacidades propias de los drones, como volar fuera de línea de visión y de modo autónomo.

En la actualidad, la popularidad del uso de drones para el ocio es principalmente para fotografía aérea y ha desembocado en el auge de una industria de “drones hobby” a precios muy asequibles, liderada por los fabricantes Parrot y DJI; además, estas y otras empresas ofrecen otra categoría superior de drones profesionales o semi-profesionales a precios intermedios orientados al incipiente sector de servicios proporcionados por estos sistemas: agricultura de precisión, cartografía, minería, monitoreo de incendios, planificación urbanística y vigilancia, entre otros. En paralelo al avance técnico de los drones y el incremento de aplicaciones y usuarios, se ha producido también un desarrollo considerable de software para manejar los sistemas más fácilmente (ej. *MissionPlanner*, apps específicas de DJI, Parrot) y procesar los datos que se obtienen de modo más rápido y sencillo (principalmente herramientas de fotogrametría como *Pix4D* o *Photomodeller*). En consecuencia, existe una gran variedad de drones, desde aeronaves de gran tamaño (denominados HALE o MALE UAS), equipos medianos o pequeños que pueden transportarse en una maleta, y hasta micro UAS que caben en la palma de la mano. En consonancia con la complejidad del sistema, el despliegue es más o menos complicado e implica desde la necesidad de aeropuertos para los grandes drones hasta la posibilidad de operar dentro de una habitación cerrada para los pequeños. Del mismo modo, la estación de control de los grandes sistemas se ubica en costosas instalaciones y requiere un elevado número de supervisores especializados o se simplifica en una aplicación que puede manejar cualquier persona con conocimientos muy básicos desde un teléfono inteligente o una *tablet*.

¿Para qué se están aplicando los drones?

Los drones cada vez se usan más en investigaciones de fauna y caracterización del hábitat, en particular para obtener información acerca de la distribución espacial de los animales en zonas de difícil acceso. Los proyectos pioneros que incorporaron esta tecnología al monitoreo de fauna tuvieron lugar en la primera mitad de la década de 2000, usando drones derivados de aeromodelos (Jones *et al.*, 2006). En la actualidad, los sistemas más usados son pequeños drones de una masa máxima al despegue de 2-25 kg, con alcances generalmente inferiores a 30 km, autonomías de 30 minutos a 4 horas, y

equipados con cámaras fotográficas en espectro visible o térmico.

En la actualidad, los drones se están empleando para estudiar diversas especies de fauna. En el campo de la ornitología existen varios trabajos de censo de aves acuáticas y colonias de aves gregarias, monitoreo de poblaciones de pingüinos, gansos e inspección de nidos de rapaces y córvidos, entre otros (Hodgson *et al.*, 2016; McEvoy *et al.*, 2016; Mulero-Pázmány *et al.*, 2014a; Sardà *et al.*, 2012; Wilson *et al.*, 2017). También hay diversos estudios en los que se usan drones para censo de mamíferos terrestres, tales como corzos, primates y elefantes, o para localizar madrigueras de roedores (Hodgson *et al.*, 2013; Martin *et al.*, 2012; Prieto *et al.*, 2014). Asimismo, se han utilizado como complemento para vigilancia de fincas y para detectar la caza furtiva de especies amenazadas, como el rinoceronte (Mulero-Pázmány *et al.*, 2014b). Hay también un gran interés en el uso de drones para estudiar mamíferos marinos, debido a las dificultades de acceso que presentan estos ambientes.

Además de los trabajos de detección de animales, los estudios enfocados a la caracterización y mapeo de hábitats son cada vez más abundantes, con una aproximación de índole ecológica y epidemiológica (Barbosa *et al.*, 2014). Diversos investigadores están trabajando en diseños específicos de drones para usos medioambientales y avanzando en las técnicas de procesamiento de datos; también, hay varios estudios que ponen en perspectiva el uso de drones frente a otros métodos de monitoreo de fauna convencionales y proponen formas de operar los sistemas para minimizar el posible impacto negativo de los vuelos sobre la fauna.

¿Qué se está haciendo en México con los drones?

Si bien el empleo de drones con objetivos de monitoreo de fauna y hábitats es insipiente en México, existen diversas iniciativas donde se está evaluando el potencial de esta herramienta. En particular, su implementación como nueva herramienta tecnológica en la investigación del medio ambiente supone una conjugación de los intereses de los sectores de conservación de la biodiversidad y los sectores de desarrollo tecnológico, por lo que abre nuevas oportunidades de desarrollo y negocio de interés en México (Cuadro 1). Específicamente en el Instituto de Ecología A. C. (Xalapa, Veracruz, México) se está realizando un proyecto enfocado a tres objetivos principales: 1) adquisición de equipo, el

Cuadro 1. Ejemplo de estudios casos en los que se han aplicado los drones para diferentes objetivos de estudio y manejo de la fauna silvestre en México.

Especie(s)	Objetivos	Referencia
Tiburón ballena	Estudio biológico	http://www.zocalo.com.mx/seccion/articulo/instalan-drones-y-camaras-submarinas-a-tiburones-ballena-para-estudio-14706
Vaquita marina	vigilancia cacería ilegal	http://a21.com.mx/innovacion/2016/08/03/mexico-usa-drones-para-conservar-especies-en-peligro-de-extincion http://www.xataka.com.mx/ciencia/mexico-utilizara-drones-para-monitorear-y-prevenir-pesca-ilegal
tortuga golfina	vigilancia playas anidación	http://www.xataka.com.mx/otros-1/mexico-protege-a-la-tortuga-marina-con-drones
Fauna	Monitoreo en costas	http://miledbcs.com.mx/bcs/2015/12/10/utilizara-drones-para-monitorear-la-fauna-silvestre-y-las-playas-de-bcs/
Arrecifes coralinos	Estudio	http://www.elfinanciero.com.mx/universidades/drones-ayudan-a-estudiar-arrecifes-de-coral.html
Mamíferos grandes	Monitoreo	Garza-González <i>et al.</i> (2015)
Venado cola blanca	Monitoreo	http://www.inecol.edu.mx/inecol/index.php/es/ct-menu-item-25/ct-menu-item-27/563-drones-observacion-de-fauna-y-de-habitats-desde-el-aire

montaje de sistemas y el fortalecimiento en las habilidades prácticas; 2) obtención de experiencia en las diferentes facetas que implica el uso de esta tecnología, tales como la búsqueda de literatura científica y tecnológica del tema, aprendizaje en la programación de los diferentes sistemas manuales y automatizados; y 3) posible aplicación de esta tecnología en las regiones de Actopan, Veracruz y la Reserva de Biosfera Tehuacán-Cuicatlán en Puebla y Oaxaca para monitorear especies como el venado cola blanca y su hábitat en UMAs extensivas (Figura 1).

¿Cuáles son las limitaciones principales de los drones?

Las prestaciones de los drones y sus sistemas embarcados están relacionados de forma bastante directa con sus costos. Los drones comerciales más asequibles tienen autonomías y alcances reducidos (<600 m), suficientes para realizar tareas sencillas de inspección (nidos de aves), pero que no resultarían adecuados para monitorear animales en grandes extensiones. Con respecto a los sensores embarcados sucede algo similar, ya que la calidad de las imágenes (que condiciona la detección) y el tamaño y peso del sensor (que condiciona su integración en el dron) suelen estar relacionados con el costo. Conviene tener presente el costo que supone la adquisición de software específico (fotogrametría) que facilite el manejo de grandes volúmenes de imágenes que deben ser geo referenciadas con precisión para su posterior análisis con sistemas de información geográfica. La opción de utilizar "drones caseros" permite ahorrar en componentes, pero exi-

ge un conocimiento considerable de aeromodelismo, electrónica, programación y pilotaje, una dedicación de tiempo importante y, en ocasiones, se corre el riesgo de un descenso en la fiabilidad de los equipos resultantes, bien por el uso de componentes no adecuados o por posibles fallos en la configuración o montaje del sistema. Es necesario tener presente que el objetivo de monitoreo condiciona la elección de la carga útil, que a su vez condiciona el tipo de dron a utilizar. Para que el monitoreo de una especie en concreto sea exitoso es importante tener bien definido el diseño experimental, definir los requerimientos de la misión, conocer el mercado de sensores y aeronaves, y finalmente seleccionar un dron que sea capaz de volar el tiempo y distancia necesarios, cargando con el peso y soportando el volumen de la carga útil elegida.

Una de las principales limitaciones actuales para el uso de drones en el monitoreo de fauna es el aspecto legal o normativo. Varios países aún no tienen regulación específica para el uso de los sistemas, lo cual produce bastante inseguridad en los potenciales usuarios. Otros prohíben o restringen el vuelo en determinadas zonas a partir de altitudes concretas o a determinadas distancias del operador y exigen la obtención de licencias para pilotar u operarlos y seguros de responsabilidad, lo cual supone una inversión económica y trámites más o menos complejos, dependiendo de cada administración. Si bien los drones tipo cuadricópteros son los más comerciales, fáciles de adquirir y relativamente sencillos de maniobrar, estos tienen limitaciones serias principalmente debido al tiempo y distancia de vuelo; por el contrario, los drones



Modelo Raptor Firststar V2 de Volantex RC, con el sistema de piloto automático (ArduPilot 2.6)



Bixler 2 en campo, con sistema FPV (First Person View - Vista en primera persona)



Lanzamiento de un Bixler 2 en campo



Fotografía aérea del modelo venado de prueba



Esquema de operación del sistema: Firststar V2, computadora recibiendo telemetría y enviando definición de la ruta, antena, piloto y zona de estudio



Programación del piloto automático en Mission Planner, para el recorrido del UAS (Unmanned Aircraft System)

Figura 1. Tipo de dron y consideraciones de uso en el monitoreo de fauna silvestre.

tipo avión se han aplicado con mayor frecuencia en el monitoreo de la biodiversidad, pero son más caros y complicados de volar. En México se está iniciando la aplicación de esta tecnología y el futuro es prometedor en ANPs, UMAs y otros con buena visibilidad y condiciones de seguridad.

CONCLUSIONES

Los drones son una alternativa muy atractiva; sin embargo, antes de elegir emplearlos se debe considerar los objetivos del estudio y monitoreo, así como los costos y logística para su aplicación.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del Proyecto Estratégico (No.20035-30921) y CONACYT (No. CB2015-01-256549) del Instituto de Ecología A.C.

LITERATURA CITADA

- Anderson K., Gaston K.J. 2013. Lightweight unmanned aerial vehicles will revolutionize spatial ecology. *Frontiers in Ecology & Environment* 11:138–146.
- Barasona J.A., Mulero-Pázmány M., Acevedo P., Negro J.J., Torres M.J., Gortázar C., Vicente, J. 2014. Unmanned Aircraft Systems for studying spatial abundance of ungulates: relevance to spatial epidemiology. *PLoS One* 9:e115608.
- Garza-González S., Karas O., García M.A. 2015. Vehículo aéreo no tripulado para ayuda en la identificación de mamíferos grandes. *Proyectos Institucionales y de Vinculación, UANL, Año III* (5):101-107.
- Hardin P.J., Hardin T.J. 2010. Small-scale remotely piloted vehicles in environmental research. *Geography Compass* 4(9):1297-1311.
- Hodgson A., Kelly N., Peel D. 2013. Unmanned aerial vehicles (UAVs) for surveying marine fauna: a dugong case study. *PLoS ONE* 8(11) e79556.
- Hodgson J.C., Baylis S.M., Mott R., Herrod A., Clarke R.H. 2016. Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Scientific reports* 6: 22574.
- Jones G., Pearlstone L., Percival H. 2006. An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. *Wildlife Society Bulletin* 34:750-758.
- Koh L.P., Wich S.A. 2012. Dawn of drone ecology: low-cost autonomous aerial vehicles for conservation. *Tropical Conservation Science* 5:121-132.
- Lisein J., Linchant J., Lejeune P., Bouché P., Vermeulen C. 2013. Aerial surveys using an Unmanned Aerial System (UAS): comparison of different methods for estimating the surface area of sampling strips. *Tropical Conservation Science* 6:506-520.
- Martin J., Edwards H.H., Burgess M.A., Percival H.F., Fagan D.E., Gardner B.E., Ortega-Ortiz J.G., Ifju P.G., Evers B.S., Rambo T.J. 2012. Estimating distribution of hidden objects with drones: from tennis balls to manatees. *PLoS ONE* 7(6): e38882
- McEvoy J.F., Hall G.P., McDonald P.G. 2016. Evaluation of unmanned aerial vehicle shape, flight path and camera type for waterfowl surveys: Disturbance effects and species recognition. *PeerJ* 4:e1831.
- Mulero-Pázmány M., Barasona J. A., Acevedo P., Vicente J., Negro J.J. 2015. Unmanned Aircraft Systems complement biologging in spatial ecology studies. *Ecology and Evolution* 5:4808-4818.
- Mulero-Pázmány M., Negro J.J., Ferrer J. 2014a. A low cost way for assessing bird risk hazards in power lines: Fixed-wing small unmanned aircraft systems *Unmanned Vehicule Systems* 2:5-15.
- Mulero-Pázmány M., Stolper R., Van Essen L.D., Negro J.J., Sassen T. 2014b. Remotely piloted aircraft systems as a rhinoceros anti-poaching tool in Africa. *PLoS One* 9:1-10.
- Prieto R., Méndez E., Vales J. J., Pino I., Carpintero I. R., Granado L., Moreira, J.M. 2014. Aplicación de UAV a la detección de fauna como soporte a los censos cinegéticos. *Revista de Teledetección* 41:121-131.
- Sardà-Palomera F.R., Bota G., Vinolo C., Pallares O., Sazatornil V., Brotons L., Sarda F. 2012. Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems. *Ibis*, 154(1):177-183.
- Sutherland W.J. 2006. *Ecological census techniques a handbook*. Second Edition, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Thompson E.L. 2004. *Sampling rare or elusive species: concepts, designs and techniques for estimating population parameters*. Island Press, Washington, D.C.
- Watts A.C., Perry J.H., Smith S.E., Burgess M.A., Wilkinson B.E., Szantoi Z., Ifju P.G., Percival H.F. 2010. Small Unmanned Aircraft Systems for low-altitude aerial surveys. *Journal of Wildlife Management* 74:1614-1619.
- Wilson A.M., Barr J., Zagorski M. 2017. The feasibility of counting songbirds using unmanned aerial vehicles. *The Auk* 134(2):350-362.



IMPORTANCIA DE LOS LÍQUENES COMO BIOINDICADORES AMBIENTALES Y FUENTE PROMISORIA DE COMPUESTOS ANTICÁNCER

IMPORTANCE OF LICHENS AS ENVIRONMENTAL BIOINDICATORS AND PROMISING SOURCE OF ANTI-CANCER COMPOUNDS

Barrales-Cureño, H.J.^{1*}; Reyes-Reyes, C.²; Díaz-Bautista, M.¹; Sánchez-Herrera, L.M.³; Cortés-Ruiz, J.A.⁴; Gómez-de Jesús, A.⁵; López-Valdez, L.G.⁶

¹División de Procesos Naturales, Ingeniería Forestal Comunitaria, Universidad Intercultural del Estado de Puebla, Calle Principal a Lipuntahuaca S/N., Lipuntahuaca, Huehuetla, Puebla. CP. 73475.

²Universidad Politécnica del Valle de Toluca. División de Ingeniería en Biotecnología. Carretera Toluca-Almoloya de Juárez Km. 5.6 Santiaguito Tlalcilcali, Almoloya de Juárez, Estado de México. C.P. 50904.

³Unidad Tecnológica de Alimentos, Universidad Autónoma de Nayarit, Ciudad Universitaria de la cultura "Amado Nervo", Tepic, Nayarit, México. ⁴Ingeniería Bioquímica, Instituto Tecnológico de Mazatlán, México. ⁵CONACYT-Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad Autónoma de Chiapas. Carretera Ocozocoautla-Villaflores km. 84.5. Apartado postal # 78, Villaflores, Chiapas; México. C.P. 30470. ⁶Laboratorio de Productos Naturales, Área de Química, Departamento de Preparatoria Agrícola, AP74 Oficina de correos Chapingo, Universidad Autónoma Chapingo, Carretera México, Texcoco, Texcoco, Estado de México.

***Autor de correspondencia:** hebert.jair@uipe.edu.mx

RESUMEN

Se han aislado y caracterizado una gran cantidad de productos naturales y biomoléculas a partir de plantas, líquenes, hongos y organismos marinos; en particular, se han extraído más de 110 mil metabolitos secundarios a partir de las plantas. A este respecto, se estima que un número significativo de sustancias será descubierto en los siguientes años, considerando que solo ha sido analizada una proporción baja a partir de las fuentes naturales disponibles. Los líquenes son formas de vida simbiótica estables, los cuales se encuentran conformados por un hongo (micobionte) y hasta dos autótrofos algales y/o cianobacteriales (fotobiontes). A la fecha se han identificado entre 17,500 y 20 mil variantes, incluyendo a 1,500 hongos liquenícolas. Este tipo de organismos tiene la capacidad de sintetizar más de 1000 metabolitos secundarios. Con respecto a su uso medicinal, los líquenes son empleados en el tratamiento de tuberculosis pulmonar, así como vermífuga. Igualmente, se toma ventaja de ellos para el control de fiebres, alivio de dolores y expectorante, entre otros. Asimismo, se emplean en el campo de la cosmética y en preparaciones farmacéuticas. Por lo que respecta a su actividad biológica, los líquenes son utilizados como antioxidantes para retrasar el envejecimiento celular, compuesto antiviral en contra del Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida y el Virus del Papiloma Humano, y compuesto antibacteriano empleado en la inhibición de bacterias Gram positivas. Igualmente, estos organismos presentan acción antitumoral inhibiendo diferentes tipos de cáncer. Por otra parte, los líquenes se utilizan como biomonitores de la contaminación ambiental. En el presente trabajo se indican los usos terapéuticos y su estatus como bioindicadores de contaminación ambiental.

Palabras clave: metabolitos secundarios, bioprospección, medicinal, uso terapéutico.

ABSTRACT

A large quantity of natural products and biomolecules have been isolated and characterized from plants, lichens, fungi and sea organisms; in particular, more than 110 thousand secondary metabolites have been extracted from plants. In this regard, it is estimated that a significant number of substances will be discovered in the coming years, taking into consideration that only a low proportion has been analyzed from available natural sources. Lichens are stable symbiotic life forms, which are made up by a fungus (mycobiont) and up to two algae autotrophs and/or cyanobacteria autotrophs (photobiont). Up to date, between 17,500 and 20 thousand variants have been identified, including 1,500 lichenicolous fungi. This type of organism has the capacity to synthesize more than 1000 secondary metabolites. With regard to their medicinal use, lichens are used in the treatment of pulmonary tuberculosis and as vermicide. Also, they are used to control fevers, relieve pain, and as expectorant, among others. Likewise, they are used in the field of cosmetics and in pharmaceutical preparations. In relation to their biological activity, lichens are used as antioxidants to delay cell aging; antiviral compound against the Acquired Immunodeficiency Disease Syndrome and the Human Papilloma Virus, and antibacterial compound used in Gram positive bacteria inhibition. Also, these organisms present antitumor action inhibiting different types of cancer. On the other hand, lichens are used as bio monitors of environmental contamination. In this study their therapeutic uses and status as bio indicators of environmental contamination are indicated.

Keywords: secondary metabolites, bio prospection, medicinal, therapeutic use.

azulado (procariotas) y algas verdes unicelulares (eucariotas). Los micobiontes más comunes son hongos ascomicetos. De este estrecho contacto físico e interacción mutualista se originan talos liquénicos estables con morfología, anatomía, fisiología, genética y ecología específicas, los cuales no son más que individuos complejos resultantes de la integración de los simbiontes (holobiontes), que es obligada para los participantes (Barreno y Perez-Ortega, 2003). Los extractos de líquenes son una exitosa alternativa contra el cáncer de seno, colon, próstata, ovario, páncreas y pulmón (Shrestha y Clair, 2013), una de las enfermedades de mayor mortalidad en el mundo. Hay registros de usos medicinales de líquenes en países de África, Europa, Asia, Oceanía, América del Norte y América del Sur (Crawford, 2015). Con respecto al uso medicinal de los líquenes se utilizan especies de *Caldonia* en el tratamiento de la tuberculosis pulmonar, mientras que las especies de *Usnea* se utilizan en Asia, África y Europa para controlar la fiebre y aliviar dolores. Otros como *U. longissima* se utilizan en China como expectorante y los extractos de *U. barbata* se usan actualmente en cosmética y preparaciones farmacéuticas. *Ramalina thrausta* se utiliza en Finlandia externamente para tratar heridas (Ingólfssdóttir, 2002).

Bioindicadores

Un bioindicador es un organismo que manifiesta síntomas particulares en respuesta a cambios medio ambientales, generalmente de manera cuantitativa (Hawksworth et al., 2005). Los líquenes son un excelente bioindicador de la calidad ambiental en las ciudades por contaminación de compuestos químicos peligrosos para la salud humana. Por lo tanto,

INTRODUCCIÓN

Los líquenes son formas de vida simbiótica estables formadas por organismos de dos o tres diferentes reinos biológicos; están constituidos por un hongo (micobionte) y uno o dos autótrofos algales y/o cianobacteriales (fotobiontes) en una unidad morfofisiológica distinta a sus componentes de vida libre (Herrera-Campos et al., 2014). La clasificación y denominación de los líquenes se refiere al hongo (micobionte), de acuerdo con lo establecido en el Código Internacional de Nomenclatura Botánica (CINB). El hongo determina la naturaleza y la forma de la mayoría de los líquenes y produce sus estructuras reproductivas. El número de especies conocidas de líquenes se estima entre 17,500 y 20,000, con cerca de 1,500 hongos liquenícolas (Illana-Esteban, 2012). El 20 % de los hongos conocidos viven en forma liquenizada y 40 % de ellos son ascomicetos. Más de 98 % de los hongos que viven liquenizados pertenecen a la división Ascomycota y el resto a la división Basidiomycota o son hongos mitospóricos (Illana-Esteban, 2012). La mayoría de los liquenizados forman simbiosis con algas verdes, 10 % con cianobacterias y 3 % con algas verdes y cianobacterias (que viven dentro de cefalodios) (Illana-Esteban, 2012). Entre los componentes del líquen y entre este y el ambiente se mantiene un flujo de agua, carbono, nitrógeno y otros elementos esenciales (Herrera-Campos et al., 2014). Los fotobiontes pueden ser cianobacterias de color verde

en el presente trabajo se indican los principales hábitats de crecimiento de los líquenes, sus usos terapéuticos, estatus como bioindicadores de contaminación ambiental y su quimiotaxonomía. Adicionalmente, el trabajo trata sobre sustancias líquénicas y su importancia farmacológica, así como sobre la biosíntesis del ácido úsnico.

Usos terapéuticos de los líquenes

Los géneros comúnmente utilizados en medicina son: *Usnea* en todo el mundo (excepto Australia), *Evernia* y *Pseudevernia* en Europa y Norte de África, *Letharia* en Norteamérica, *Lethariella* en China, *Cetraria* en Europa, *Parmotrema* y *Everniastrum* en India, *Xanthoparmelia* en Norteamérica y África, *Cladonia* y *Cladina* en Norteamérica, Europa y Asia, *Thamnolia* en Asia, *Ramalina* en Norteamérica, Europa y Asia, *Lobaria* y *Peltigera* en Norteamérica, Europa y Asia y *Umbilicaria* en Norteamérica y Asia (Crawford, 2015). Los distintos colores que tienen los líquenes se deben a la acumulación de diversos metabolitos secundarios, llamados sustancias líquénicas o ácidos líquénicos, que son compuestos químicamente complejos. Estos metabolitos son en su mayoría distintos de los que pueden encontrarse en las plantas (Illana-Esteban, 2012) y muchos de ellos tienen propiedades antibióticas y son efectivos contra el ataque de microorganismos (Illana-Esteban, 2012). El ácido úsnico, por ejemplo, es la sustancia líquénica que ocupa la mayor parte de los trabajos de investigación por su marcada acción antitumoral. Estos estudios muestran extensos resultados *in vitro*; otros metabolitos con esta propiedad se identificaron en la especie *Peltigera leucophlebia* y *Collema flaccidum*, dos líquenes muy comunes (Illana-Esteban,

2012). Asimismo, el ácido úsnico se utiliza como ungüento para heridas y quemaduras con mayor efectividad que la penicilina. Otras sustancias líquénicas han sido estudiadas como antibióticos en patologías vegetales (Hur *et al.*, 2004). Los últimos trabajos realizados en el campo de la bioquímica aplicada a las sustancias líquénicas han puesto de manifiesto una posible acción antiviral de estos compuestos. En 1989, Hirabayashi presentó investigaciones sobre la acción inhibitoria del polisacárido GE-3-S sobre el Virus de la Inmunodeficiencia Humana (VIH) en cultivos *in vitro* (Toledo *et al.*, 2004). Experimentos clínicos en pacientes con el Virus del Papiloma Humano (VPH) demostraron que el tratamiento como adyuvante con ácido úsnico reduce la aparición del cáncer cérvico uterino. El cáncer es una de las enfermedades que causa la muerte de millones de personas en todo el mundo existen 100 tipos o variantes de cáncer (Barrales *et al.*, 2016) y, por ejemplo, se han identificado compuestos anticancer, tales como el fármaco taxol en hongos endófitos a partir de árboles de *Taxus* sp. (Barrales y de la Rosa, 2014). Los metabolitos secundarios de los líquenes son fuertemente citotóxicos y tienen la capacidad de detener la proliferación celular de las células cancerosas a concentraciones de micromolar (Einarsdóttir *et al.*, 2010). Es interesante mencionar que la posición de los diferentes grupos funcionales en los compuestos químicos del líquen afecta los niveles de citotoxicidad (Correche *et al.*, 2002). La regulación del ciclo celular es crítica con respecto al control del crecimiento y desarrollo de las células cancerosas. Investigaciones en Estados Unidos demuestran que varios ácidos líquénicos detienen el crecimiento celular del cáncer en la fase sub-G1 (Ren *et al.*, 2009) o en la fase S del ciclo celular (Backorova *et al.*, 2011; Liu *et al.*, 2010). Se ha comprobado que los mecanismos de muerte celular en varias líneas celulares cancerosas causado por los metabolitos secundarios a partir de los líquenes incluyen: apoptosis (Backorova *et al.*, 2011; Bezivin *et al.*, 2004; Russo *et al.*, 2008), necrosis (Einarsdóttir *et al.*, 2010; Russo *et al.*, 2006) e inhibición de la angiogénesis (Koparal *et al.*, 2010). Se conocen más de 1000 metabolitos secundarios producidos en los líquenes, de los cuales únicamente se han identificado 50. Los metabolitos secundarios incluyen: ácidos alifáticos, para y meta-depsidas, depsidonas, bencil ésteres, dibenzofuranos, ácidos úsnicos, xantonas, antraquinonas, terpenoides y ácido pulvínico y sus derivados. La literatura americana y europea identifica los siguientes metabolitos secundarios con actividad probada en el área de citotoxicidad en líneas celulares cancerosas: ácido úsnico probado en carcinoma de ovario humano A2780 cuya citotoxicidad se debió a la inducción de especies reactivas de oxígeno y especies reactivas de nitrógeno; parietina (*X. parietina*) y ácido girofórico (*Umbilicaria hirsuta*) se probó en adenocarcinoma de colon humano, ácido difractaico (*Protousnea magellanica*), vicanicina (*Psoroma pallidum*), ácido lobarico (*Stereocaulon alpinum*), ácido variolarico (*Ochrolechia deceptionis*), ácido protoliquesterinico (*Cornicularia aculeate*) y ácido usnico (*Cladonia lepidophthora*), entre otros.

Especies de líquenes estudiados en Perú contienen el ácido úsnico en diferentes proporciones; de ellos, las especies de la familia Parmeliaceae son las que tienen mayor cantidad de ácido úsnico 0,30-0,35 % y los líquenes de otras familias (Siphulaceae, Stereocaulaceae, Cladoniaceae) contienen solamente de 0,07 hasta 0,12 % (Castro, 2010). El ácido úsnico solubilizado

en 2-hidroxipropil- β -ciclodextrina exhibió actividad anti-proliferativa contra la línea celular maligna K-562 en un ensayo de proliferación estándar de timidina, mostrando una DL_{50} de 4.7 mg ml^{-1} (Kristmundsóttir *et al.*, 2002). En un ensayo de quimioprevención del cáncer diseñado para detectar el potencial inhibitorio de la promoción de tumores se aisló ácido úsnico a partir de *U. longissima*, mostrando efectos inhibitorios potentes (ED_{50} 1.0 mg ml^{-1}) contra el virus Epstein-Barr en contraste con el ácido úsnico comercial, el cual fue menos activo (ED_{50} 5.0 mg ml^{-1}). En países asiáticos, como la India, Nepal y Bután, utilizan ampliamente a las diversas especies de líquenes en la medicina tradicional para tratar dolor de muelas y de garganta, enfermedades de la piel, enfermedades del hígado, diurético, enfermedades urinarias, llagas y ampollas de la lengua (Illana-Esteban, 2012). En la Figura 1 se muestran las estructuras químicas de los principales metabolitos secundarios de los líquenes.

Líquenes como bioindicadores de contaminación

Para la Organización Mundial de la Salud el aire está contaminado cuando en su composición se encuentran una o varias sustancias extrañas, en cantidades y durante un período de tiempo que las convierte en nocivas para toda forma de vida en el planeta: humano, animales, plantas, entre otros (Méndez y Monge, 2011). Los bioindicadores son organismos que manifiestan síntomas particulares en respuesta a cambios medioambientales, generalmente de manera cuantitativa (Hawksworth *et al.*, 2005). En el siglo XIX los líquenes fueron reconocidos por primera vez como posibles bioindicadores, pero no fue hasta 1960, al ser identificado el dióxido de azufre

(S_2) como el factor principal que influencia el crecimiento, distribución y salud de los líquenes, cuando ocurrió un crecimiento exponencial de los estudios que utilizaban los líquenes como biomonitores. Actualmente se conoce que, además del dióxido de azufre, una amplia gama de otros compuestos (amoníaco, fluoruros, polvo alcalino, metales y metales radioactivos, hidrocarburos clorados), así como la eutrofización y la lluvia ácida, pueden ser detectados y monitorizados utilizando líquenes (Hawksworth *et al.*, 2005). En muchos países europeos y en Estados Unidos se utilizan líquenes para monitorizar los efectos causados por contaminación gaseosa y metales. Hoy en día se les reconoce como bioindicadores de ciertos contaminantes y daños al medio ambiente en zonas templadas (Hawksworth *et al.*, 2005). Las razones por las cuales los líquenes se utilizan con éxito en esta área se basan en que son ubicuos y actualmente se encuentran en aumento en muchos centros urbanos, sobre todo en países desarrollados, gracias a la disminución en la concentración de dióxido de azufre en la atmósfera de las ciudades. También que no poseen una cutícula protectora y absorben nutrientes y contaminantes a través de gran parte de su superficie. Que por su naturaleza simbiótica, si cualquiera de los simbiontes se ve afectado por algo, ambos organismos mueren. Son relativamente longevos, permaneciendo expuestos al efecto nocivo por largos períodos, por lo que proporcionan una imagen de estados crónicos y no de variaciones puntuales del medio ambiente, y por ser organismos perennes que pueden ser muestreados durante todo el año (Hawksworth *et al.*, 2005). Los líquenes absorben el dióxido de azufre, del cual retienen aproximadamente

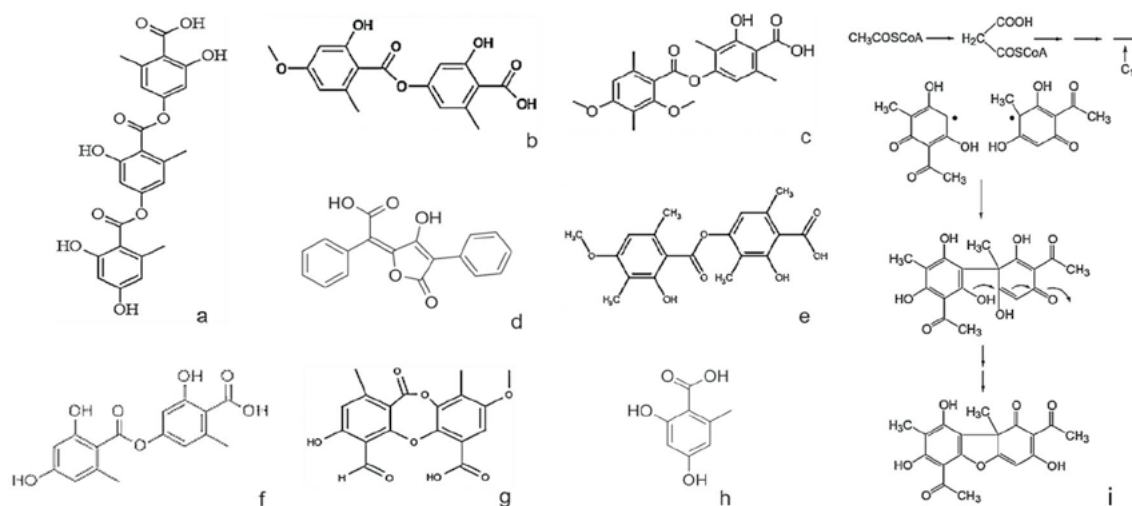


Figura 1. Estructuras químicas de metabolitos secundarios especializados en el género *Usnea*. a) ácido girofórico; b) ácido evérnico; c) ácido difractaico; d) ácido pulvínico; e) ácido barbático; f) ácido lecanórico; g) ácido psorómico; h) ácido orselínico y i) Ruta de biosíntesis del compuesto químico anticancerígeno: ácido úsnico.

30 %. Por repetidas exposiciones al dióxido de azufre el líquen acumula altos niveles de sulfatos y bisulfatos, los cuales lo incapacitan para realizar funciones tales como fotosíntesis, respiración y en algunos casos fijación de nitrógeno. Esto ocasiona la deformación de la estructura del talo y eventualmente su muerte. Un nivel anual de $8\text{--}30\ \mu\text{g m}^{-3}$ de sulfuro produce la deformación o la muerte de especies líquénicas sensibles. Los efectos fisiológicos sobre el líquen al exponerlo a óxidos de nitrógeno son similares a los de exposición a dióxidos de azufre, ya que un nivel anual de $564\ \mu\text{g m}^{-3}$, o mayor, de óxidos de nitrógeno, puede resultar en la decoloración, deformación y en la muerte del líquen (Froehlich, 2006). El Cuadro 1 muestra la relación entre los diferentes tipos de líquen y la contaminación ambiental con dióxido de azufre.

Algunos metales que se han localizado en las células de los líquenes son: aluminio (Al), arsénico (As), boro (B), cadmio (Cd), calcio (Ca), cromo (Cr), cobre (Cu), hierro (Fe), plomo (Pb), magnesio (Mg), manganeso (Mn), mercurio (Hg), níquel (Ni), fósforo (P), potasio (K), sodio (Na), azufre (S) y zinc (Zn) (Méndez y Monge, 2011).

CONCLUSIONES

Los extractos líquénicos son una exitosa alternativa contra el cáncer (seno, colon, próstata, ovario, páncreas y pulmón), una de las enfermedades de mayor mortalidad en el mundo. Se recomiendan realizar cultivos *in vitro* de líquenes, purificación de enzimas implicadas en los procesos de síntesis, transformación y expresión de los genes responsables del ácido úsnico y metabolitos relacionados, así como el cultivo en biorreactores para sobreexpresar la producción de ácido úsnico. La FAO reconoce que la medicina tradicional es utilizada por 80 % de la población en el Mundo, de tal forma que los líquenes son consumidos ampliamente en diversas regiones por su inocuidad y capacidad contra diversas enfermedades. A nivel ambiental, son excelentes bioindicadores de la calidad ambiental de las ciudades, por lo que se perfilan como íconos de salud, seguridad y calidad ambiental.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el nombramiento de Candidato a Investigador por el Sistema Nacional de In-

vestigadores (SNI) del primer autor y a la Universidad Intercultural del Estado de Puebla por el apoyo para realizar la presente investigación.

LITERATURA CITADA

- Asahina Y., Shibata S. 1954. Chemistry of lichen substances, Japan Society for the Promotion of Science. Tokyo, Japón. 240 p.
- Backorova M., Backor M., Mikes J., Jendzelovsky R., Fedorocko P. 2011. Variable responses of different human cancer cells to the lichen compounds parietin, atranorin, usnic acid and gyrophoric acid. *Toxicology in vitro* 25: 37-44.
- Barrales-Cureño H.J., De la Rosa M.R. 2014. Uso de hongos endófitos para la producción del fármaco anti-cáncer taxol. *Biología Vegetal* 14(1): 3-13.
- Barrales-Cureño H.J., Farrera R.A., Reyes R.C., Hernández F.I.Y., García A.E., Chávez S.S. 2016. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana* 16(1): 75-91.
- Barreno E., Pérez-Ortega S. 2003. Biología de los líquenes. *Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias y KRK ediciones*. 65-82.
- Bezin C., Tomasi S., Rouaud I., Delcros J.G., Boustie J. 2004. Cytotoxic activity of compounds from the lichen: *Cladonia convoluta*. *Planta Medica* 70: 874-877.
- Castro M.O.N. 2010. Aislamiento del ácido úsnico de y su determinación cuantitativa por espectroscopia UV, en diez líquenes. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 76(4): 389-399.
- Castro M.O., Pastor A.A., Collantes D.I.E. 2011. Aislamiento de ácido úsnico y parietina de *Caloplaca saxicola* Hoffm. *Revista de la Sociedad Química del Perú* 77(2): 152-161.
- Cocchietto M., Skert N., Nimis P.L., Sava G. 2002. A review on usnic acid, an interesting natural compound. *Naturwissenschaften*. 89(4): 137-146.
- Correché E., Carrasco M., Giannini F., Piovano M., Garbarino J., Daniel E. 2002. Cytotoxic screening activity of secondary lichen metabolites. *Acta Farm Bonaer* 21: 273-278.
- Crawford D. 2015. *Lichens Used in Traditional Medicine* Stuart. Springer International Publishing Switzerland B. Rankovic (ed.), *Lichen Secondary Metabolites*.
- Einarsdóttir E. 2010. Cellular Mechanisms of the Anticancer Effects of the Lichen Compound Usnic Acid. *Planta Medica* 76 (10): 969-974.
- Einarsdóttir E., Groeneweg J., Bjornsdóttir G.G., Harethardóttir G., Omarsdóttir S., Ingólfssdóttir K., Ógmundsdóttir H.M. 2010. Cellular mechanisms of the anticancer effects of the lichen compound usnic acid. *Planta Medica* 76: 969-974.
- Froehlich A. 2006. A look at Willamette valley air quality using lichen communities as bioindicators. *Research Based Learning* 49: 377-389.

Cuadro 1. Relación entre tipos de líquen y contaminación.

Tipo de líquen		Calidad del aire	Cantidad de SO ₂ (mg m ⁻³)
Ausencia de líquenes		Extremadamente contaminado	>170
Sin líquenes		Muy contaminado	150-170
Presencia de líquenes	Crustáceos	Bastante contaminado	125
	Foliáceos	Poco contaminado	30-70
	Fruticosos	Muy poco contaminado	<30
	Filamentosos	Sin contaminación	0

- Hawksworth L. D., Iturriaga T., Crespo A. 2005. Líquenes como bioindicadores inmediatos de contaminación y cambios medio-ambientales en los trópicos Revista Iberoamericana de Micología 22: 71-82.
- Herrera-Campos M.A., Lücking Robert., Pérez-Pérez R.E., Miranda-González R., Sánchez N., Barcenás-Peña A., Carrizosa A., Zambrano A, Ryan B.D., Nash H.T. 2014. Biodiversidad de líquenes en México. Revista Mexicana de Biodiversidad 85: 82-99.
- Hur J.S., Harada H., Oh S.O., Lim K.M., Kang E.S., Lee S.M., Kahng H.Y., Kim H.W., Jung J.S., Koh Y.J. 2004. Distribution of Lichen Flora on South Korea Journal Microbiology 42(2): 163-167.
- Illana-Esteban C. 2012. Líquenes usados en medicina tradicional. Boletín de Sociedad Micológica de Madrid 36: 163-174.
- Ingólfssdóttir. K. Usnic acid. 2002. Phytochemistry 61(7): 729-736.
- Koparal A.T., Ulus G., Zeytinoğlu M., Tay T., Türk A.O. 2010. Angiogenesis inhibition by a lichen compound olivetoric acid. Phytotherapy Research 24(5): 754-758.
- Kristmundsdóttir T., Aradóttir H.A.E., Ingólfssdóttir K., Ogmundsdóttir H.M. 2002. Solubilization of the lichen metabolite (+)-usnic acid for testing in tissue culture Journal of Pharmacy and Pharmacology 54(11): 1447-1452.
- Méndez V.H., Monge N.J. 2011. El uso de líquenes como biomonitores para evaluar el estado de la contaminación atmosférica a nivel mundial. Biocenosis 25(2): 51-67.
- Russo A., Piovano M., Lombardo L., Vanella L., Cardile V., Garbarino J. 2006. Pannarin inhibits cell growth and induces cell death in human prostate carcinoma DU-145 cells. Anticancer Drugs 17(10): 1163-1169.
- Russo A., Piovano M., Lombardo L., Garbarino J., Cardile V. 2008. Lichen metabolites prevent UV light and nitric oxide-mediated plasmid DNA damage and induce apoptosis in human melanoma cells. Life Sciences 83: 468-474.
- Shrestha G., Clair L.L.S. 2013. Lichens: a promising source of antibiotic and anticancer drugs. Phytochem Rev. 12: 229-244.
- Toledo F.J., García A., León F., Bermejo J. 2004. Ecología química en hongos y líquenes, Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales 28 (109): 509-528.
- Yamamoto Y., Mizuguchi R., Yamada Y. 1985. Tissue-cultures of *Usnea rubescens* and *Ramalina yasudae* and production of usnic acid in their cultures. Agricultural and Biological Chemistry 49, 3347-3348.



ENERGÍA ALTERNATIVA: PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EÓLICA, OPCIÓN DE DESARROLLO EN LA VENTA, JUCHITÁN, OAXACA, MÉXICO

ALTERNATIVE ENERGY: WIND ENERGY PRODUCTION, DEVELOPMENT OPTION IN LA VENTA, JUCHITÁN, OAXACA, MÉXICO

Racilla-Manuel, S.¹; Martínez-Saldaña, T.^{2*}

¹Dirección General de Fibras naturales y biocombustibles SAGARPA. Municipio Libre 377, Col. Santa Cruz Atoyac, Delegación Benito Juárez, C.P. 03310, Ciudad de México. ²Colegio de Post-graduados, Campus Montecillo, Km 36.5 carretera México-Texcoco, Montecillo, Texcoco, Estado de México, C.P. 56230.

*Autor de correspondencia: tms@colpos.mx

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el ejido de La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México, para documentar un caso de éxito relacionado con la mayor cantidad de productores de energía eólica. La Venta, está produciendo una cantidad importante de megawatts a través de transformar la energía eólica, sin embargo, una opción de desarrollo como tal no existe, debido a que el pago por la renta de las tierras no es proporcional con la energía que se produce, además de la distribución desigual de los contratos pactados con las empresas, agregando que las tierras son de propiedad ejidal, y en consecuencia, no todos los habitantes son beneficiados, los pagos son diferentes dependiendo de la empresa que les arrende y el tipo de instalación que realicen en sus propiedades. El objetivo principal de la investigación fue analizar el impacto social que existe en La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, ante el arrendamiento de tierras para la generación de energía eléctrica. Las transnacionales compran la energía obtenida y el ejido solo renta las tierras, las tarifas de electricidad en el ejido siguen siendo las mismas que pagaban antes de la instalación de los parques eólicos, cuando deberían disminuir. La obtención de ingreso por arrendar las tierras, ha modificado el panorama social de la población.

Palabras claves: energías, ejidos, impacto social, desarrollo y arrendamiento de tierras.

ABSTRACT

This study was carried out in the ejido of La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México, in order to document a case of success related to the higher number of wind energy producers. La Venta is producing an important amount of megawatts through the transformation of wind energy; however, an option of development as such does not exist because payment for land rental is not proportional to the energy produced, in addition to the unequal distribution of contracts negotiated with the companies, adding that the lands are ejido property, and consequently, not all inhabitants are benefitted, the payments are different depending on the company that rents from them and the type of installation that they carry out in their properties. The main objective of this study was to analyze the social impact that there is in La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, in face of land rental for the generation of wind energy. The transnational companies purchase the energy obtained and the ejido only rents the lands, the electricity fees in the ejido continue being the same they paid before the installation of wind parks, when they should decrease. Obtaining income from land rental has modified the social panorama of the population.

Keywords: energies, ejido, social impact, development and land rental.

INTRODUCCIÓN

Las energías alternativas son fuentes de obtención de energías limpias y son una opción a las fuentes tradicionales con un impacto ambiental mínimo. Las energías renovables, han dado un resultado positivo a la escasez de fuentes de producción de energía convencional en todo el mundo (Santana, 2003). Borrero (1998), señala que el uso de recursos locales para el funcionamiento de las energías renovables estimula la disminución de los costos en las tecnologías. En la actualidad, se reconoce que el aprovechamiento de la energía del viento para generar electricidad es una actividad innovadora que se está integrando a los sectores eléctricos de varios países en el contexto de la diversificación energética. Para la última década del siglo XXI, los hechos han demostrado que la generación Eolo eléctrica es una alternativa viable que favorablemente se complementa a la generación convencional. Hoy en día, la mayoría de los gobiernos de países industrializados han instaurado programas e incentivos que fomentan el desarrollo Eolo eléctrico. Las estrategias para implantación y diseminación de esta tecnología han venido mejorando en función de la experiencia operativa, necesidades y oportunidades de cada país (Caldera, 2000).

Los países que iniciaron el desarrollo Eolo eléctrico fueron los que dieron más valor a los recursos energéticos renovables como resultado de situaciones difíciles ocasionadas

por crisis petroleras o guerras. Tal es el caso de Dinamarca, país pionero en el desarrollo de esta tecnología, además la preocupación por los posibles efectos del Cambio Climático Global ha conducido a varios países, entre ellos México (Cuadro 1), quienes al firmar un acuerdo para reducir la emisión a la atmósfera de gases de efecto invernadero (protocolo de Kioto), mostró como ventaja el aprovechamiento de las fuentes de energía renovable (Salomón, 2004).

Estos países actualmente, han alcanzado importante capacidad

los acuerdos y obligaciones derivados del Protocolo de Kioto (Torres, 2001) (Cuadro 2).

Parques eólicos del mundo

Los parques eólicos son un conjunto de aerogeneradores que se utilizan para la producción de energía eléctrica a través de la fuerza eólica; pueden instalarse, bien en la tierra o en el mar. Las instalaciones más comunes son las que se realizan en tierra, mientras que las segundas se encuentran en una primera fase de explotación (Ortega y Fonseca, 2009) (Figura 1). El número de aerogeneradores que componen un parque eólico es muy variable, y depende fundamentalmente de la superficie disponible y las características del viento en el emplazamiento. Antes de instalar un parque eólico se estudia la fuerza eólica en el emplazamiento elegido durante un tiempo que suele ser superior a un año. Para ello se instalan veletas y anemómetros, y con los datos recogidos se traza una rosa de los vientos que indica las direcciones predominantes del viento

y su velocidad, y se determinan los costos (Cuadro 3).

Las medidas compensatorias propuestas para los parques eólicos, tienen por objeto proteger y compensar las actuaciones a realizar sobre distintos elementos ambientales del entorno que a continuación se mencionan: construcción de balsas-abrevaderos para la fauna; construcción de balsas de agua con el fin de que puedan acceder y facilitar el trabajo de los medios de extinción de incendios; construcción de

Cuadro 1. Principales países con mayor producción y capacidad eólica instalada.

País	Capacidad Instalada (MW)	Producción (MWh)
Alemania	20,600	30,700,000
España	11,600	23,000,000
Estados Unidos	11,600	26,700,000
India	6,300	8,000,000
Dinamarca	3,100	6,100,000
China	2,600	3,900,000
Italia	2,100	3,000,000
Reino Unido	2,000	4,200,000
Portugal	1,700	2,900,000
Francia	1,600	2,200,000

Fuente: Elaboración propia con base en datos de Agencia Internacional de Energía, Renewable Energy Outlook (2008).

instalada de generación eléctrica basada en fuentes alternas, gracias a reformas legales, estímulos fiscales, apoyos gubernamentales, regulaciones favorables, subsidios, normativas internacionales y legislación. En el transcurso, esos países se han convertido, además, en generadores de tecnologías que entran en franca competencia con los combustibles fósiles, sobre todo en un marco de preocupación global por el medio ambiente que ha favorecido la aparición de mercados de bonos de carbono al amparo de

Cuadro 2. Capacidad instalada para la generación de electricidad 2011-2035 (GW), a nivel mundial.

Energía	2011	2012	2015	2020	2025	2030	2035	TMCA 2012-2035
Hidráulica	970	990	1,119	1,271	1,410	1,520	1,602	61.8 %
Eólica	238	283	358	535	703	862	1,035	27.38 %
Solar Fotovoltaica	70	100	57	110	197	294	406	24.6
Biomasa	72	83	75	98	134	184	244	34.0
Solar de Alta Concentración	2	3	10	17	30	52	91	2.7
Geotérmica	11	12	16	21	27	34	42	27.9
Mareomotriz	0	1	0	1	2	6	17	2.9
Total Global ER	1,363	1,471	1,635	2,053	2,503	2,952	3,437	42.8
Total Global de capacidad para la generación de electricidad	5,360	5,640	5,952	6,581	7,186	7,867	8,613	65.5

Fuente: Elaboración propia tomada de RGSR, 2013/ World Energy Outlook (2010), IEA (WEO, 2010).

sendas ecológicas y áreas de interpretación natural de los valores ambientales del emplazamiento seleccionado para la construcción del parque eólico; recuperación de caminos vecinales y restauración y revegetación ambiental de otros caminos que no son utilizados. En México se han identificado diferentes zonas con potencial para la explotación eólica para generación eléctrica, tal como en el Istmo de Tehuantepec, Oaxaca; La Rumorosa Baja California, además de los estados de Zacatecas, Hidalgo, Veracruz, Sinaloa, y Península de Yucatán, entre otros. La Asociación Mexicana de Energía Eólica estima que estas zonas podrían

aportar hasta 10,000 megawatts (MW) de capacidad al parque eléctrico nacional (Cuadro 4).

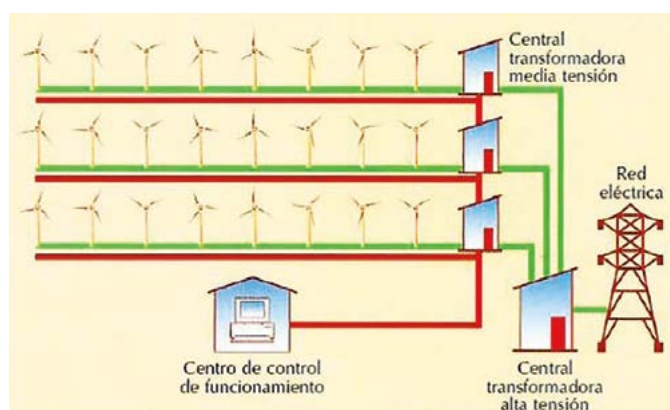


Figura 1. Esquema básico de la red de un parque eólico. Fuente: Adaptado de SENER (Secretaría de Energía, 2001).

México, ha tomado un papel relevante en el tema eólico en los últimos 10 años, y el protagonista sobresaliente ha sido el estado de Oaxaca. Pese a que no existía una ley de fomento o de promoción de la energía eólica; aunque se conocía poco se tomaron datos confiables del potencial eólico, en sólo algunas empresas, pero existía

voluntad política para impulsar esta industria por parte del gobierno estatal, lo que constituye una lección muy importante para México y el mundo. En la región del

Cuadro 3. Costos de tecnología para la generación de electricidad con fuentes renovables a nivel mundial.

Tipo de energía	Costo 2010-2020 (US\$ 2009 por MWh)			Costo 2021-2035 (US\$ 2009 por MWh)			Índice de Aprendizaje
	Min.	Max.	Prom.	Min.	Max.	Prom.	
Biomasa	119	148	131	112	142	126	5
Eólica terrestre	63	126	85	57	88	65	7
Eólica marina	78	141	101	59	94	74	9
Geotérmica	31	83	52	31	85	46	5
Solar FV-gran escala	195	527	280	99	271	157	17
Solar FV- edificios	273	681	406	132	356	217	17
Plantas solares de concentración	153	320	207	107	225	156	10

Fuente: Elaboración propia tomada de Prospectiva de ER, 2011-2025, SENER, (PER 2011-2025, SENER) con datos del WEO.

Istmo de Tehuantepec, Oaxaca existe uno de los mayores campos de generación de energía eólica a nivel mundial, calculado entre 5000 y 7000 MW (megawatts) de capacidad anual, suficiente como para abastecer a 18 millones de habitantes del medio urbano (Sánchez, 2007).

Elementos para la promoción de la energía eólica en México

En México ha tomado un papel relevante el tema eólico y el protagonista ha sido el estado de Oaxaca. Pese a que no existía una ley de fomento o de promoción de la energía eólica; aunque se conocía poco se tomaron datos confiables del potencial eólico en sólo algunas empresas, existía voluntad política para impulsar esta industria por parte del gobierno estatal, lo que constituye una lección muy importante para México y el mundo. De acuerdo con cálculos de los Laboratorios de Energía Renovable de los Estados Unidos (NREL, por sus siglas en inglés), solamente el Istmo de Tehuantepec tiene un potencial aprovechable

Cuadro 4. Potencial eólico en México.

Potencial eólico en México	(MW)
Sur del Istmo de Tehuantepec	2,000-3,000
Península de Baja California	1,500-2,500
Península de Yucatán	1,000-2,000
Zacatecas	800-1,500
Costa del Pacífico	1,000-1,500
Golfo de México	1,000-1,500

Fuente: Elaboración tomada de La energía del viento en México: Simulación de un parque eólico y aplicación de análisis probabilístico de seguridad.

de hasta 35 mil MW, que en forma muy conservadora el Instituto de Investigaciones Eléctricas (IIE) ha calculado en cinco mil. Sin embargo, aun que México se posiciona en Latinoamérica como uno de los líderes de inversión y proyección de capacidad a instalar, hay formas y leyes que deben ser mejoradas para

que este proceso sea más expedito (Caldera, 2000). Con la llegada de proyectos eólicos en 1994 en la comunidad de La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, se observó que era viable producir energía eólica en esta población. Así inició la entrada de ingresos económicos por la venta de la energía eléctrica producida en dicho ejido (Torres, 2001) (Figura 3).

La ley Agraria establece los procedimientos por los cuales los ejidatarios pueden otorgar el uso de sus tierras, transmitir derechos parcelarios entre los miembros del núcleo de población. Las tierras ejidales pueden ser objeto de cualquier contrato de asociación o aprovechamiento celebrado por el núcleo de población ejidal, o por los ejidatarios titula-



Figura 2. Regiones de Desarrollo Eolo eléctrico en México. Tomado de Secretaría de Energía, (2005).



Figura 3. Aerogeneradores instalados en el ejido de la Venta, Juchitán, Oaxaca. Fuente: Tomado de http://www.amdee.org/Amdee/AMDEE_presentacion_esp.pdf

res, según se trate de tierras de uso común o parcelado respectivamente. Los contratos que impliquen el uso de tierras ejidales por terceros tendrán una duración acorde al proyecto productivo correspondiente, no mayor a 30 años prorrogables. Con fundamento en el artículo 45 de la Ley Agraria en vigor se pueden suscribir contratos de usufructo, arrendamiento, asociación o en participación entre otros. El Ejidatario puede aprovechar su parcela directamente, ceder a otro ejidatarios o terceros su uso o usufructo mediante aparcería, mediería, asociación, arrendamiento o cualquier otro acto jurídico no prohibido por la Ley, sin necesidad de autorización de la asamblea o de cualquier autoridad. Asimismo puede aportar sus derechos de usufructo a la formación de sociedades tanto mercantiles como civiles (Sebastián, 1990). Al introducir los proyectos eólicos en el ejido de La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, donde la gran mayoría de los habitantes se dedica a la agricultura y ganadería, en especial a la producción de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y maíz (*Zea mays* L.) variedades enanas, tuvo un giro inesperado para la población, ya que el arrendamiento de sus tierras les permite recibir ingresos por producir energía eólica, además de seguir aprovechándolos para la agricultura, ya que los aerogeneradores son de gran altura y no estorban a las actividades agrícolas, o pastoreo de ganado (Torres, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

El método utilizado fue descriptivo-explicativo, con un enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo), utilizando cámaras fotográficas, grabadoras, computadora, cuaderno de campo, encuestas rurales participativas y cuestionarios, todos sobre temas desde una perspectiva analítica del impacto social en la comunidad de la Venta, Juchitán, Oaxaca, como objeto de estudio. Las variables evaluadas fueron: La generación de empleos (aumentó o disminuyó); los beneficios económicos ante el arrendamiento de tierras, por parte de los habitantes; participación de la comunidad, para aprobar los proyectos eólicos; porcentaje del desarrollo de la comunidad antes y después de la instalación de aerogeneradores. Para las herramientas de investigación de este tema se utilizaron encuestas con técnicas de tipo cualitativas tomando una postura descriptiva y predictiva, donde se trata de entender un fenómeno, para analizar si las energías alternativas son una opción de desarrollo en el Ejido de La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca.

Observación directa y participante

La observación directa y participante ayudó a identificar

la interacción social y comunitaria, su significado y sentido, a través del conocimiento de diversos contextos y situaciones que ha generado el arrendamiento de tierras en la población (Morales, 2008).

Entrevista

Las entrevistas permitieron obtener observaciones detalladas que evidencian actitudes, información, percepciones y orientaciones que poseen las personas entrevistadas, pero también de la propia comunidad, para identificar relaciones sociales, diálogos, conversaciones, etcétera. Se diseñaron las guías de entrevista según los objetivos planteados en el estudio y valorando los diversos actores involucrados y la estrategia de trabajo en campo, para lo cual fue necesaria hacer las entrevistas casa por casa de los actores claves y darle la importancia a la investigación. Estas guías de entrevista se realizaron para los actores sociales, como autoridad municipal, representantes ejidales, arrendatarios, no arrendatarios, y arrendatarios en proceso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el ejido de La Venta, Juchitán, Oaxaca, no existe una opción de desarrollo, debido a que la producción de energía eólica, no está siendo aprovechada por la comunidad, sino por empresas transnacionales, sin olvidar mencionar que el pago por el arrendamiento de sus tierras equivale a una cuarta parte contra la producción de energía eólica. De la aplicación de las encuestas (n=50) clasificadas como familias beneficiadas, familias no beneficiadas y familias con apartado, se enuncian los siguientes resultados:

Características de las familias beneficiadas: Son ejidatarios, tienen arrendadas sus tierras y por tanto reciben ingreso, las tierras arrendadas las pueden producir, mediante condicionantes, como por ejemplo que los cultivos sean enanos, por las condiciones ambientales del lugar, cuentan con contrato de arrendamiento, participan en la mayordomía de las fiestas religiosas, obtención de bienes, vehículos, casas, arreglos a sus casas, terrenos, ganado para engorda, adquisición de tiendas de abarrotes, etcétera, sus hijos asisten a escuelas privadas, realizan viajes, trabajan en el campo, la producción la venden principalmente sorgo y zacate forrajero.

Características de las familias No beneficiadas: Son ejidatarios, no tienen arrendadas sus tierras, trabajan en el campo, su producción es para autoconsumo, menor participación en las mayordomías, sus hijos asisten a

escuelas públicas y se dedican al comercio, como por ejemplo, tiendas de abarrotes y comedores.

Características de las familias con apartado: Son ejidatarios, han recibido un pequeño pago o apartado por las tierras, no está asegurado el arrendamiento de sus tierras y no cuentan con un contrato final, trabajan en el campo y su producción es para auto abasto. La Figura 4 muestra el total de ejidatarios que hay en La Venta, y se contrasta con las familias que son beneficiadas que en este caso son un porcentaje alto, a las que no lo son y las que están en proceso de recibir algún ingreso posterior, por la renta de sus tierras, llamados ejidatarios con apartado, como se menciona en el párrafo anterior.

La Figura 4 B, muestra el porcentaje de familias beneficiadas que representa el 80%, y el restante 10% lo ocupan las familias no beneficiadas y en proceso, esto quiere decir que son pocas las familias que no perciben ningún ingreso, lo cual se ve reflejado en comparación con las familias con un elevado ingreso.

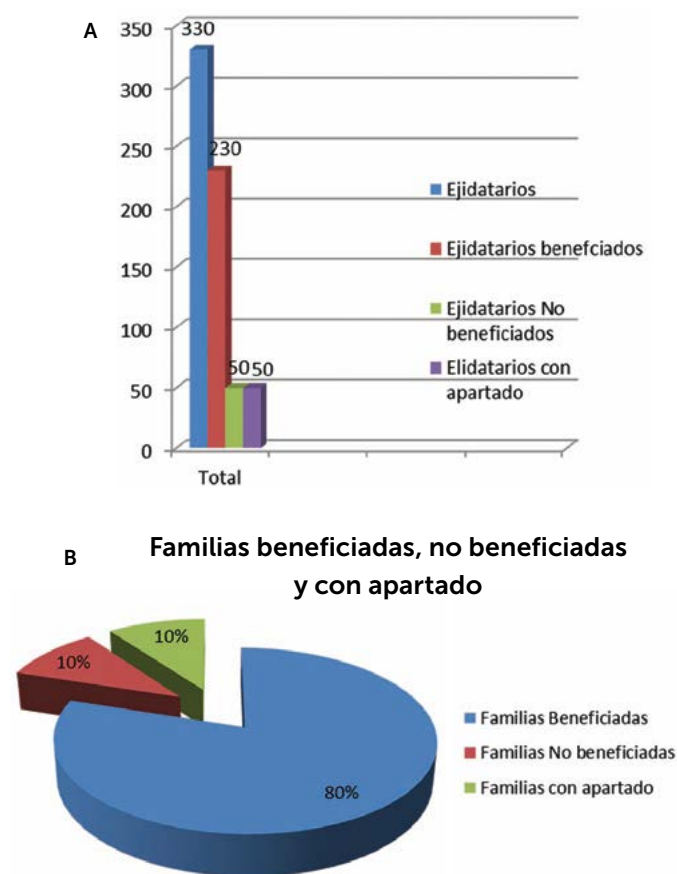


Figura 4. A: Total de ejidatarios en La Venta, Juchitán, Oaxaca. B: Total de familias con ingreso, sin ingreso y en proceso de recibir. Fuente: Elaboración propia tomada de las encuestas realizadas en campo, en La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca (2012).

Siguiendo con el análisis (Figura 5), se observa que en la actividad a la que más se dedican es la agricultura, lo cual indica que aunque reciban el ingreso siguen produciendo sus tierras, seguido por la ganadería otro factor importante en el ejido La Venta, ya que la mayoría de las familias que se dedican a la ganadería es de engorda y las demás ocupaciones representan porcentajes bajos en comparación con las dos actividades mencionadas anteriormente.

La Figura 6 muestra que el 70% de los contratantes son ejidatarios y 25% comunal, lo anterior es debido a que es un ejido, dónde las tierras fueron repartidas de acuerdo al total de habitantes en la población, en porciones iguales, y posteriormente las personas con mayor poder adquisitivo fueron comprando y adquiriendo más tierras.

CONCLUSIONES

No existe una opción de desarrollo en la comunidad de La

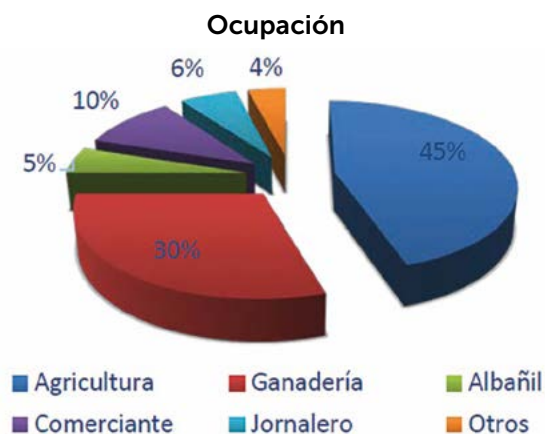


Figura 5. Actividades a la que se dedican las personas en La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México. Fuente: Elaboración propia tomada de las encuestas realizadas de campo.

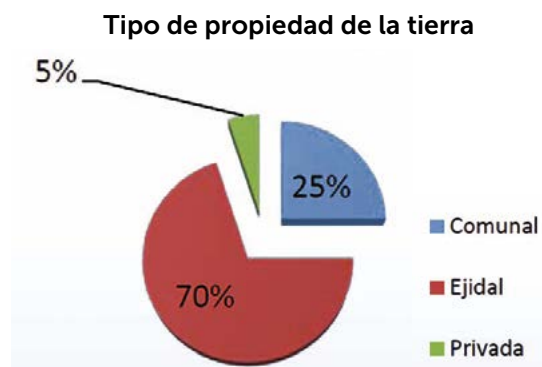


Figura 6. Tipo de tenencia de la tierra en La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, México. Fuente: Elaboración propia tomada de las encuestas realizadas de campo.

Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca, con la producción de energías alternativas como es el caso de la energía eólica, debido a que las transnacionales compran la energía obtenida y el ejido solo renta las tierras. Las tarifas por consumo de electricidad en el ejido siguen siendo las mismas que pagaban antes de la instalación de los parques eólicos. La comunidad involucrada no se visualizaba con los proyectos eólicos y esto trajo consigo la obtención de ingreso por el arrendo de sus tierras, cambiando con ello el panorama social de la población de estudio. Para las personas que aún no han sido beneficiadas, pero que ya cuentan con su apartado, saben que para el año siguiente o los años siguientes pueden tener una expectativa de ingresos, a diferencia de los que no son beneficiados. Se recomienda continuar con la investigación debido a que no se lograron cubrir todos los aspectos que ha generado la producción de energía eólica en La Venta, Juchitán de Zaragoza, Oaxaca.

LITERATURA CITADA

- Borrero M. 1998. La explotación de la tierra: contratos agrarios y prácticas agrícolas en Carmona a fines del Medievo, Sevilla, Actas del I congreso de historia de Carmona, España pp. 253-282.
- Caldera E. 2000. Energía eólica. En Manzini et al. Energías Renovables y Ambiente. ISES Millennium Solar Forum 2000. México, DF.
- Morales C. 2008. Aprovechamiento eólico para electrificar pequeñas comunidades rurales de no más de 1000 habitantes. Instituto Politécnico Nacional. IPN. México.



DESARROLLO DE LA MOTRICIDAD FINA EN NIÑOS CON PARÁLISIS CEREBRAL ESPÁSTICA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE TERAPIA PSICOMOTRIZ

DEVELOPMENT OF FINE MOBILITY IN CHILDREN WITH SPASTIC CEREBRAL PALSY THROUGH THE APPLICATION OF PSYCHOMOTOR THERAPY

Cruz-Gavilanes, T.¹; Cruz-Gavilán, N.²; Álvarez-lozano, M.I.³; Martínez-Santander, C.⁴

Universidad Católica de Cuenca Sede AZOGUES., Av. 16 de Abril y Ernesto Che Guevara, Azogues, Ecuador.

Autor de correspondencia: nube5502@gmail.com

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue proponer una alternativa de estrategias lúdicas que promuevan el desarrollo de la motricidad fina, generadora de acciones autónomas en niños y niñas de 4 a 5 años de edad con parálisis cerebral espástica de diferentes instituciones educativas de la ciudad de Azogues, provincia del Cañar en Ecuador. Se recopiló información sobre el desarrollo de la motricidad fina, se describieron, analizaron y aplicaron estrategias lúdicas, que consistieron en estudiar las posibilidades para conjugar los objetivos, metodologías, patrones pedagógicos, didácticos y técnicas de la educación regular y especial, para en base a un mutuo enriquecimiento, generar espacios de inclusión que eliminen las diferencias aplicadas con niños y niñas, que por razones de orden fisiológico, psicológico o mental, no se encuentran dentro de los patrones "normales" de desarrollo y se les permita adaptarse a las exigencias del entorno y desarrollar sus potencialidades. En la terapia realizada se contó con la colaboración de los padres y de toda la familia para mayor efectividad de las sesiones programadas, el punto principal es que las actividades y juegos que se realizan en las sesiones los realicen en casa. Los niños tratados evidenciaron un nivel de mejora de un 30% en las destrezas motrices.

Palabras clave: estrategias lúdicas, motricidad, inclusión, niñas, niños.

ABSTRACT

The objective of the study was to propose an alternative of fun strategies that promote the development of fine mobility, which generates autonomous actions in boys and girls from 4 to 5 years old with spastic cerebral palsy from different educational institutions in the city of Azogues, Province of Cañar in Ecuador. Information was gathered about the development of fine mobility, and fun strategies were described, analyzed and applied, which consisted in studying the possibilities to conjugate the objectives, methodologies, pedagogical, didactic patterns and techniques of regular and special education, in order to generate spaces of inclusion based on mutual enrichment that eliminate the differences applied with boys and girls, which because of reasons of physiological, psychological or mental reasons are not found within the "normal" patterns of development, and to allow them to adapt to the demands of the environment and to develop their potentialities. In the therapy carried out there was collaboration from parents and the whole family to achieve greater effectiveness from the programmed sessions, the main point being that the activities and games performed in the sessions be done at home. The children treated evidenced a level of improvement of 30 % in motor skills.

Keywords: fun strategies, mobility, inclusion, girls, boys.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre, 2017, pp: 98-102.

Recibido: abril, 2017. **Aceptado:** agosto, 2017.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo motor en niños y niñas se produce a través de su deseo de actuar sobre el medio donde se desenvuelve y de ser cada vez más autónomo. El desarrollo motor en niños y niñas que no sufren discapacidad consigue el dominio y control del propio cuerpo, hasta obtener del mismo todas sus posibilidades de acción, desde los movimientos reflejos primarios hasta llegar a una coordinación de los grandes grupos musculares que intervienen en los mecanismos de control postural, equilibrios y desplazamientos (Madrona et al., 2008). El desarrollo motor tiene una serie de particulares que lo discriminan, ya que para que se produzca un aprendizaje en la coordinación de movimientos es preciso que el sistema nervioso y el muscular hayan conseguido un nivel eficaz de maduración, tomando en cuenta que en niños con parálisis cerebral la maduración será más lenta que en niños regulares. La motricidad es la relación entre el desarrollo cognitivo, social y motriz con el movimiento, los niños y niñas van adquiriendo patrones motores y habilidades motrices básicas a medida que la motricidad evoluciona. La adquisición del dominio y el control del cuerpo, favorecen el equilibrio y la práctica de movimientos naturales, que potencian el desarrollo de la condición física, que enriquece el comportamiento motor, que buscan la eficacia corporal (Madrona et al., 2008).

La evolución rápida del control de la motricidad voluntaria por parte de los niños y niñas depende de la transformación de sus estructuras nerviosas, sensoriales y motrices. Si bien estas estructuras están ya presentes al momento de nacer, todavía no han adquirido una funcionalidad plena (Rigal, 2006). Los comportamientos motores vienen determinados genéticamente y aparecen a su debido tiempo y lugar, como los dientes o como el crecimiento del cuerpo. El gatear, andar y correr se inscriben en el genoma y se manifiestan en determinado tiempo; y la maduración y entrenamiento facilita el dominio del comportamiento motor (Rigal, 2006).

La motricidad es realmente ventajosa para trabajar en la integración de los que presentan dificultades o deficiencias tanto físicas como mentales, puesto que aparte de ayudarles a conocer mejor su cuerpo y el dominio de éste, favorece la salud física y psíquica del niño y la niña. El desarrollo de las funciones de la mano se aprecia desde los cuatro meses, y termina con la consecución del trípodode manual (postura que adoptan los

dedos pulgar, índice y medio para sostener el lápiz) que se da entre los 4 y 6 años. Es necesaria la desaparición de los reflejos tónico flexor de la mano y la reacción tónico cervical asimétrica y lograr una coordinación con la vista para que la manipulación comience. Así pues, inicialmente sujetará un objeto colocado en su mano, para después ser capaz de buscarlo y alcanzarlo; más tarde pasará un objeto de una mano a otra y después realizará la pinza. La habilidad para hacer torres de dos cubos llegará al poco tiempo, unas semanas antes de poder colocar la tapa de un bolígrafo (Iceta y Yoldi, 2002). Al enfrentar un caso con un retraso en el desarrollo motor fino, se debe acudir a especialistas en neuro-pediatría, para poder conocer la gravedad del caso, dependiendo de este, se podrá intervenir. La Organización Mundial de la Salud (OMS) define el término discapacidad como "un concepto general que abarca las deficiencias, limitaciones de la actividad y restricciones de la participación; siendo las deficiencias problemas que afectan a una estructura o función corporal; las limitaciones de la actividad son dificultades para ejecutar acciones o tareas, y las restricciones de la participación son problemas para participar en situaciones vitales. Por lo tanto, la discapacidad es un fenómeno complejo que refleja una interacción entre las características del organismo humano y las características de la sociedad en la que vive."

La clasificación realizada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática menciona discapacidades físicas o motrices, discapacidades mentales, discapacidades sensoriales y de la comunicación (Ruiz, 2014). El presente trabajo investigativo se enfocó en las discapacidades múltiples, que son aquellas que no se incluyen dentro de ninguno de los grupos anteriores. La finalidad de este grupo es conocer a la población que presenta de manera simultánea más de una discapacidad, tales como: Accidente cerebro vascular, Apoplejía, Corea de Huntington, Cuadriplejía, Embolia, Parálisis cerebral, Parkinson y Trombosis cerebral. Las características globales de este grupo son según González (2007): Torpeza motriz, Hipertonía, poca socialización con el mundo exterior, mala lateralidad, tartamudez y rigidez.

Parálisis Cerebral

La parálisis cerebral (PC) hace referencia a un trastorno neurológico que produce alteraciones del control motor de comienzo precoz y no de carácter progresivo, pero que adicionalmente del compromiso motor, puede afectar otros aspectos que pueden obstaculizar

el desarrollo del niño, en este caso, trastornos como el retardo mental, problemas del lenguaje y comunicación, trastornos sensoriales y comportamentales, entre otros (González, 2005b). El diagnóstico temprano de la parálisis cerebral en el primer año de vida ofrece grandes dificultades, debido a que el niño pequeño con una lesión motora cerebral no presenta signos claros de espasticidad, atetosis, ataxia o sus combinaciones. Presenta en cambio, anormalidades del tono, exceso de actividad refleja primitiva y retraso en su desaparición, así como también en la emergencia de los reflejos posturales (Yelin, 1997). Autores como Skatved han descrito que la espasticidad, en el sentido que se demuestra por una respuesta miotática excesiva, no se encuentra en el niño pequeño. Por lo tanto, el diagnóstico de la misma sólo puede ser realizado entre los 7 y 9 meses, en los casos leves y, prácticamente en todos los casos, a los dos años. Si la espasticidad es severa, su confirmación puede hacerse en los primeros meses. La forma atetoidea también de difícil diagnóstico temprano, sobre todo en los primeros meses, ya que los movimientos característicos aparecen a mediados del primer año, o en el segundo. Puede confirmarse entre los 18 y 24 meses. La forma atáxica puede diagnosticarse cuando aparecen los movimientos con propósito, así como también, trastornos de equilibrio, coordinación en las actividades motrices integradas y la marcha entre los 2 años 6 meses y 3 años.

Existen muchos grados de severidad de la PC, y se observa desde una forma severa diagnosticada en el período neonatal, hasta formas leves que pueden ser descubiertas o confirmadas en edad preescolar. La forma más utilizada de diagnosticar la parálisis cerebral es la neurológica, ya que indicará el grado de severidad. Según Perlstein todos los signos y síntomas de la PC pueden estar presentes y desaparecer completamente. Según Barraquer, la evolución de niños y niñas con Parálisis Cerebral sufren cambios evolutivos debido a los siguientes factores:

- La entrada en función de nuevos sectores del sistema nervioso central (SNC), reclutados por el proceso madurativo (retardado o no), cuya actividad entra en conexión con las demás estructuras neurales.
- ◆ La evolución anatómica de las lesiones iniciales, especialmente en niños con hemiplejía.
- ★ Las relaciones del niño con su ambiente, en cuyo caso se insertan las posibilidades de rehabilitación, ya que el conjunto de aferencias que le proporciona el ambiente ayudan a integrar y elaborar patrones sensorios motores.
- ▲ La prospección del psiquismo y la sintonía que se establece entre éste, que va madurando, y la integración de la percepción y la motricidad.

El desarrollo de la motricidad en la infancia refleja todos los movimientos, y determinan el comportamiento motor de los niños y niñas de educación inicial que se presentan por medio de habilidades básicas motrices, y se articulan través de movimientos naturales del ser humano (Acevedo,

2012). Esta investigación se refiere a cómo desarrollar la motricidad fina en niños con parálisis cerebral espástica dentro de los 3 a 6 años de edad. El desarrollo motor en niños y niñas que no sufren discapacidad se consigue el dominio y control del propio cuerpo, hasta obtener del mismo todas sus posibilidades de acción, desde los movimientos reflejos primarios hasta llegar a una coordinación de los grandes grupos musculares que intervienen en los mecanismos de control postural, equilibrios y desplazamientos (Madrona *et al.*, 2008), esta investigación se aplicó en niños con Parálisis Cerebral, para contribuir y mejorar el desarrollo de las habilidades motoras finas mediante actividades específicas para cada niño(a), dependiendo de sus necesidades. El objetivo es proponer una alternativa de estrategias lúdicas que promuevan el desarrollo de la motricidad fina generadora de acciones autónomas en niños y niñas con parálisis cerebral espástica. La metodología que se empleó en la investigación fue la analítica descriptiva, teniendo un carácter cuali-cuantitativo, y está apoyada en la investigación de campo, bibliográfica, documental y descriptiva, con niños y niñas de la ciudad de Azogues, provincia del Cañar, Ecuador. Del análisis de la información recopilada se obtuvieron los insumos para elaborar la propuesta metodológica lúdica. La incorporación de metodologías lúdicas para el desarrollo de la motricidad fina con el fin de favorecer el proceso de inclusión de niños y niñas parálisis cerebral espástica, que permita modificar las apreciaciones de los estudiantes de instituciones educativas regulares, respecto a personas con capacidades especiales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se partió evaluando las capacidades y dificultades que presentan a través de una evolución exhaustiva, y se realizó una sesión específica para aplicar las actividades que estimulen la actividad psicomotriz de los niños en estudio. Las sesiones se realizaron dos veces a la semana con duración de 45 minutos para que se familiarice con el ambiente para evitar situaciones tensas con el niño; en cada sesión era planificada para contar con los materiales necesarios que ayudaron al desarrollo de la motricidad fina en el niño con parálisis cerebral espástica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La recolección de datos fueron aplicados en dos instancias a través de la escala de Bayley del desarrollo infantil, utilizando la subescala motora, el primero fue aplicado en el mes de Agosto del 2015 y el segundo después de seis meses (febrero del 2016), notando un avance en sus movimientos en 30%, gracias al apoyo de las instituciones y los padres de familia se lograron avances en el desarrollo motor fino. Para cumplir con los objetivos propuestos se hizo necesario construir materiales didácticos acordes a las necesidades, y contar con espacios donde todos los niños puedan estar en condición igual de participación y oportunidades de aprendizaje. Para cumplir con ello se contó con docentes capacitados para manejar situaciones nuevas en el proceso de enseñanza aprendizaje, así como también de instituciones educativas implementando estrategias

que les permitan planificar y actuar frente a la diversidad. La aplicación de estas estrategias en instituciones regulares ayuda a disminuir el grado de afectación física y psicológica para que pueda mejorar su calidad de vida. La colaboración de los padres de familia es el pilar fundamental para que exista una evolución favorable en el desarrollo de habilidades motoras finas en los niños y niñas con Parálisis Cerebral. Trabajar la motricidad en niños y niñas ya sea con discapacidad o no, aporta múltiples beneficios para su desarrollo motor. La presente investigación del desarrollo de la motricidad fina ayudó a mejorar su calidad de vida, ayudándoles a tener un mejor control de sus movimientos finos, con lo que podrá realizar actividades de la vida diaria de forma más autónoma.

CONCLUSIONES

La estimulación facilita el progreso de las habilidades motoras finas en niños y niñas que presentan parálisis cerebral. La estimulación psicomotriz es utilizada como una técnica de mejoramiento en la calidad de vida de los niños y niñas que presentan parálisis cerebral. Infantes con parálisis cerebral que obtienen ayuda de fundaciones presentan retrasos ya que no existe personal especializado en el tema que ayude a mejorar sus habilidades motoras finas. Con la aplicación de las actividades propuestas los niños y niñas mejoran el desarrollo de las habilidades motoras finas.

Cuadro 1. Identificación de necesidades y aplicación de actividades a los niños con parálisis espástica.

Área o ámbito de intervención	Dificultad identificada	Necesidad existente	Respuesta educativa
Motor fino	Pinza primitiva Necesidad de controlar sus movimientos	Necesidad recreación Actividad física dirigida De controlar sus movimientos	Terapia de lenguaje con pictogramas Ejercicios de articulación Programa de desarrollo de la psicomotricidad fina: recreación, juegos, relajación, masajes. Hipoterapia.
Socio-afectiva desarrollo emocional convivencia	No cumple con normas y reglas de convivencia (código de conductas sociales)	Necesidad de ser autónomo	Programa de habilidades sociales: establecimiento de relaciones causa efecto: A través de un programa de modificación de conducta: La economía de fichas
Personal social, Independencia	Falta de independencia Sobreprotección de la mamá Escaso Autocontrol	Desarrollar la independencia.	Programa de actividades de la vida diaria: higiene vestido y alimentación Aplicar un horario de rutinas y hábitos
Área escolar	Docentes no capacitados	Recibir una estimulación adecuada para su desarrollo integral	Reciba una educación especializada. Ecológico funcional.



LITERATURA CITADA

- A. Iceta A., Yoldi M.E. 2002. Desarrollo psicomotor del niño y su valoración en atención primaria. ANALES Sis, 25, 9.
- Ruiz M.A. 2014. La Motricidad en el alumnado con NEE. UNIVERSITAS ALMERIENSIS, Almeria. Recuperado a partir de http://repositorio.ual.es:8080/jspui/bitstream/10835/3611/1/1066_TFG.pdf
- Yelin B. 1997. Vol 25 Rev Neurol - diagnostico_temprano_de_la_pc_1_2.pdf. 1997; 25, 725-727.
- Madrona P.G., Onofre R.C.J., Gómez B.I. 2008. Habilidades motrices en la infancia y su desarrollo desde una educación física animada. revista iberoamericana de educación., 47, 71-96.
- González A.M.P. 2005a. Fisioterapia en neurología: estrategias de intervención en parálisis cerebral, 10.
- González A.M.P. 2005b. Redalyc.Fisioterapia en neurología: estrategias de intervención en parálisis cerebral - gonzalez2005fisioneuro.pdf. Umbral Científico, 7, 24-32.
- Rigal R. 2006. Educación motriz y educación psicomotriz en Preescolar y Primaria (Primera). España: INDE. Recuperado a partir de <https://books.google.com.ec/books?hl=es&lr=&id=nTLBnz9WP5gC&oi=fnd&pg=PR3&dq=car%C3%A1cterísticas+de+la+motricidad+en+educación+infantil&ots=o8cA7gZi-N&sig=vlJBpvEDCSju2lBAftNHgNLvBZs#v=onepage&q&f=false>
- Acevedo R. D.P. (2012.). La importancia del desarrollo de la motricidad fina en la infancia [<http://aceru1904.blogspot.com/>]. Consultado en diciembre 2014.
- Torres C.X. 2013. Agenda-Nacional-para-Discapacidades.pdf (2013). Recuperado a partir de <http://www.planificacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/09/Agenda-Nacional-para-Discapacidades.pdf>



CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA Y NUTRICIONAL DE PASTO ROSADO [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] EN EL ESTADO DE CHIHUAHUA

MORPHOLOGICAL AND NUTRITIONAL CHARACTERIZATION OF NATAL GRASS [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] IN THE STATE OF CHIHUAHUA

Corrales-Lerma R.¹, Morales-Nieto C. R.¹, Villarreal-Guerrero F.¹, Santellano-Estrada E.¹,
Melgoza-Castillo A.¹, Álvarez-Holguín A.¹, Avendaño-Arrazate C. H.^{2*}

¹Facultad de Zootecnia y Ecología, Universidad Autónoma de Chihuahua. Periférico Francisco R. Almada kilómetro 1. Código postal 31000. Chihuahua, Chihuahua. México. ²Instituto del Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental Rosario Izapa, Carretera Tapachula-Cacahoatán kilómetro 18. Código postal 30870. Tuxtla Chico, Chiapas. México.

*Autor de correspondencia: avendano.carlos@inifap.gob.mx

RESUMEN

El pasto Rosado (*Melinis repens* (Willd.) Zizka) tiene la capacidad de invadir y desplazar especies nativas de importancia ecológica. En México se desconoce la variabilidad que presenta esta especie, ya que tiene un tiempo relativamente corto de estar establecido. El objetivo fue caracterizar poblaciones silvestres de pasto Rosado a través de descriptores físicos y químicos, para determinar su diversidad morfológica y composición nutricional en Chihuahua, México. Se caracterizaron morfológicamente 13 poblaciones en etapa fenológica madura y determinó el contenido de fibras y proteína cruda (PC). Los datos morfológicos se analizaron a través de Análisis Clúster y MANOVA. El valor nutricional se analizó con ANOVA y comparación de medias con la prueba Tukey. No se encontró diversidad morfológica suficiente para diferenciar las poblaciones de pasto Rosado; se determinó el contenido nutrimental y encontró diferencia ($p < 0.05$) de PC entre poblaciones. Con base en el aporte nutricional presentado, se estimó un valor forrajero de regular a bueno para esta especie.

Palabras clave: diversidad, especie invasora, poblaciones silvestres.

ABSTRACT

Natal grass (*Melinis repens* (Willd.) Zizka) has the capacity to invade and displace native species of ecological importance. In México the variability this species presents is unknown, since it has been a relatively short time since it was established. The objective was to characterize wild populations of Natal grass through physical and chemical descriptors, to determine their morphological diversity and nutritional composition in Chihuahua, México. Thirteen (13) populations were characterized morphologically in mature phenological stage and the content of fibers and raw protein (CP) was determined. The morphological data were analyzed through Cluster Analysis and MANOVA. The nutritional value was analyzed with ANOVA and the means comparison with Tukey test. Not enough morphological diversity was found to differentiate the populations of Natal grass; the nutritional content was determined and a difference of RP was found between populations ($p < 0.05$). Based on the nutritional contribution presented, a fodder value ranging of fair to good was estimated for this species.

Keywords: diversity, invading species, wild populations.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre, 2017, pp: 103-109.

Recibido: agosto, 2017. **Aceptado:** octubre, 2017.

INTRODUCCIÓN

El pasto Rosado (*Melinis repens* (Willd.) Zizka) es originario de Sudáfrica, en América es una especie (Poaceae) invasora (Herrera y Cortez, 2009). Los descriptores vegetales contribuyen a la identificación de una especie con características expresadas de acuerdo a variables de topografía, clima, edafología, entre otras. Algunas especies de pasto se han diferenciado naturalmente o han sido modificadas y seleccionadas por caracteres específicos que difieren física o químicamente (Brutnell *et al.*, 2015). El valor nutrimental de las Poaceas (antes gramíneas) es otro factor que diferencia especies y variedades. El pasto Rosado posee alto contenido de lignina y bajo de proteína, lo cual reduce su digestibilidad (Flores *et al.*, 2016; Melgoza *et al.*, 2014). No obstante, el valor nutrimental puede cambiar de acuerdo a factores medioambientales y genéticos en ecotipos o poblaciones. A la fecha se conoce del pasto Rosado, la distribución global, descripción taxonómica y algunas características de orden general basadas en descriptores morfológicos y moleculares (Vicentini *et al.*, 2008; Melgoza *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2015). Sin embargo, se desconoce la mayoría de sus características morfológicas y aporte nutrimental. El objetivo fue caracterizar poblaciones silvestres de pasto Rosado a través de descriptores físicos y químicos, para determinar su diversidad morfológica y composición nutricional en Chihuahua, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se caracterizaron 12 poblaciones silvestres de pasto Rosado distribuidas en diferentes eco regiones de Chihuahua, México, las cuales presentan variación en precipitación, temperatura y altitud (INEGI, 2015; Cuadro 1). El criterio para seleccionar poblaciones fue que presentaran una distancia mínima de 40 km entre población. Además, se incluyó una población de plantas desarrolladas en invernadero con semilla de poblaciones silvestres. Las plantas en campo se seleccionaron a una edad aproximada de 1.5 años y diámetro de macollo entre 9 y 12 cm, similar a las desarrolladas en invernadero. El total de plantas evaluadas fue de 65, con cinco individuos por población en etapa de madurez, previo al desprendimiento de semilla. En cada planta se midieron 20 variables morfológicas con base en las guías de descriptores varietales para pasto buffel (*Cenchrus ciliaris*; Guiot *et al.*, 2014) y banderita (*Bouteloua curtipendula*; Quero *et al.*, 2014).

Las variables fueron: hábito de crecimiento (HCR; °), se midió la inclinación perimetral de la planta con un transportador. Altura de follaje (AF; cm), se midió del suelo al término

de la densidad foliar, sin considerar hojas bandera. Altura de planta (AP; cm), se midió del suelo al ápice más alto de la planta. Proporción altura de follaje-altura planta (pFP), se dividió la altura de follaje entre altura de planta. Peso de biomasa aérea sin semilla (BSS; gr), se cosechó la semilla de la planta, se cortó la BSS y se secó a temperatura constante de 65 °C durante 48 h. Peso de biomasa aérea con semilla (BCS; gr), se sumó el peso de la semilla al peso de biomasa aérea sin semilla. Proporción peso de semilla-peso de biomasa aérea (pSB), se dividió el peso de la semilla producida por la planta entre BCS. Largo de limbo (LLH; cm), se seleccionaron tres hojas a una altura media del follaje en tallos centrales y se midió desde lígula hasta ápice. Ancho de limbo (ALH; mm), se midió en la parte más ancha de lámina en las mismas hojas que se midió longitud. Concentración de clorofila (ICC; índice), se utilizó un medidor de clorofila Opti-Sciences CCM-200 y se midieron las mismas tres hojas que se utilizaron para largo y ancho. Largo de limbo de hoja bandera (LHB; cm), se

Cuadro 1. Distribución y descripción de poblaciones de pasto Rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] en Chihuahua, México, evaluadas morfológica y nutricionalmente.

Población	Localidad	Ubicación geográfica
P0	Invernadero Facultad de Zootecnia y Ecología	28° 35' 07" N, 106° 06' 23" O
P1	Palomas-Rancho de Peña	28° 21' 19" N, 106° 15' 47" O
P2	El Chamizal-Rancho los Ruiz	28° 00' 45" N, 106° 09' 26" O
P3	Presa Las Virgenes-Delicias	28° 04' 37" N, 105° 41' 57" O
P4	Rancho El Ojito-Ejido Ciénega de Los padres	28° 27' 42" N, 105° 45' 03" O
P5	Curvas del Perico-Ejido Ocampo	28° 48' 54" N, 106° 13' 12" O
P6	Rancho Experimental La Campana-Ejido El Faro	29° 18' 49" N, 106° 24' 12" O
P7	Entronque carretera Namiquipa-Ejido Vella Vista	29° 05' 08" N, 106° 22' 32" O
P8	Tutuaca-San Fco. de Borja	28° 01' 10" N, 106° 34' 50" O
P9	Ejido Laborcita de San Javier-Rancho Barraganes	28° 22' 44" N, 106° 40' 48" O
P10	Satevó-Valle de Zaragoza	27° 39' 34" N, 106° 01' 03" O
P11	Valle de Zaragoza-Hidalgo del Parral	27° 25' 12" N, 105° 46' 52" O
P12	Hidalgo de Parral-Jiménez	26° 56' 25" N, 105° 36' 12" O

midió longitud de lámina entre lígula y ápice de la hoja más alta en tres tallos centrales. Ancho de limbo de hoja bandera (AHB; mm), se midió en la parte central de la lámina de la misma hoja donde se midió longitud. Diámetro de tallo (DIT; mm), se seleccionó un tallo central y se midió con vernier estándar la parte media del primer entrenudo. Longitud del raquis de la panícula (LRQ; cm), se midió de la base del pedicelo de la ramilla basal al ápice de la inflorescencia en tallo central. Número de ramillas en raquis de panícula (RRQ), se contaron las ramillas unidas al raquis principal. Longitud de ramilla basal (LRB; cm), se midió de la base del pedicelo al ápice de la ramilla inferior. Número de ramillas en ramilla basal (RRB), se registró la cantidad de ramillas unidas al raquis. Longitud de pedicelo de ramilla basal (PDI; mm), se midió el pedicelo de la ramilla basal. Longitud de pedúnculo (PDU; cm), se midió longitud del tallo desnudo entre lígula de hoja bandera y base del pedicelo. Peso de semilla (PSE; gr), se cosechó, seco y pesó el total de semilla de la planta.

En el análisis nutrimental se excluyó la P0 y las 12 poblaciones silvestres se clasificaron en cuatro nuevas poblaciones (NPO). Cada NPO se constituyó de 15 plantas agrupadas por gradiente; norte (PNOR), centro (PCEN), sur (PSUR) y oeste (POES). La materia seca (MS) se molió entre 0.1 y 1.0 mm, posteriormente se obtuvo una alícuota de MS de cada NPO. Para estimar materia seca absoluta del pasto (MASP), nuevamente se colocaron las muestras en la estufa a 105 °C durante 24 h. De acuerdo al protocolo Ankom basado en el método descrito por Goering y Van Soest (1970), se determinó fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA) y lignina detergente ácido (LDA) con tres repeticiones por NPO. Los porcentajes de hemicelulosa (HEM), celulosa (CEL) y lignina (LIG) se determinaron por diferencia. El contenido de PC se determinó de acuerdo al protocolo LECO, basado en el método de combustión DUMAS, con tres repeticiones por NPO con la misma MS preparada para el análisis de fibras.

Las variables morfológicas se analizaron con análisis Clúster (ACL), mediante la matriz de correlación y el método de ligamiento de Ward. El nivel de similitud entre grupos se tomó a criterio de los pseudo estadísticos F y T^2 , con base en el coeficiente de Pearson (R^2). Además, se incluyó Análisis Multivariante de la Varianza (MANOVA) con Contrastes Ortogonales entre poblaciones y por variable. Para contenido nutrimental se incluyó Análisis de Varianza (ANOVA) y comparación de medias con la

prueba de Tukey. El programa estadístico utilizado fue SAS 9.1.3 (2006).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En general, los coeficientes de variación (CV) fueron relativamente bajos para la mayoría de las variables, con excepción de PSE, ICC, pSB, BBS y BCS que presentaron valores del 37% en adelante (Cuadro 2). La variable que presentó el CV y valor relativo más alto en intervalo de valores mínimos y máximos, fue PSE. Por otro lado, RRQ fue la del menor CV y menor valor de intervalo relativo. La máxima altura de planta encontrada en estas poblaciones fue de 125 cm, lo cual superó los 100 cm que otros autores reportan como máxima para el pasto Rosado (Häfliger y Scholz, 1980; Herrera y Pámanes, 2006; Melgoza *et al.*, 2016). Otras variables que se diferenciaron de otros estudios fueron LLH, ALH y LRQ. En el estado de Durango, Herrera y Pámanes (2006) reportaron algunos descriptores de pasto Rosado; tales como lámina de hoja de 6 a 17 cm de largo, ancho de hoja de 2 a 5 mm, panícula de 14 a 22 cm de largo, ramillas o espiguillas de 3.5 a 5 cm de largo. También, Melgoza *et al.* (2016) describen a esta especie con hojas menores a 10 cm e inflorescencia de 8 a 15 cm. En Estados Unidos se reporta, lámina de hoja hasta 20 cm de longitud, 3 a 10 mm de ancho y panícula de 10 a 15 cm de largo (Hitchcock, 1950; Häfliger y Scholz, 1980). Las diferencias a lo reportado en este estudio, indican que las poblaciones del pasto Rosado del Estado de Chihuahua pueden presentar diferencias morfológicas, comparadas con poblaciones de otros Estados o países.

El ACL muestra la distribución por individuo de acuerdo al valor de sus variables (Figura 1). Para coincidir con el número de poblaciones evaluadas originalmente, se formaron 13 grupos a partir de las variables cuantitativas originales. Los pseudo estadísticos F y T^2 mostraron un coeficiente de similitud $R^2=0.82$ entre los nuevos grupos. Por el número de poblaciones y variables incluidas en el ACL, se considera que este coeficiente marca un alto grado de similitud, lo cual disminuye la probabilidad de encontrar diferencias morfológicas significativas. Esto sucede porque a medida que aumenta la interacción de los datos, la distancia entre grupos disminuye (Archer y Maples, 1987; Vega-Dienstmaier y Arévalo-Flores, 2014).

El dendograma distribuyó los individuos de las poblaciones originales en diferentes nuevos grupos. Solo los individuos de la P1 se conservaron reagrupados en un mismo clúster. Sin embargo, este nuevo grupo incluyó

Cuadro 2. Estadísticos simples para variables morfológicas cuantitativas de pasto Rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] en poblaciones de Chihuahua, México.

Variable	Media	Desv. estándar	C. V.	Valor Mínimo	Valor Máximo
HCR	66.08	8.59	0.13	50.00	85.00
AF	48.26	7.59	0.16	32.00	65.00
AP	99.15	9.31	0.09	81.00	125.00
pFP	0.49	0.05	0.11	0.34	0.59
DIT	1.79	0.35	0.20	1.20	2.70
LLH	13.43	3.09	0.23	6.00	23.00
ALH	6.97	0.91	0.13	5.50	9.00
LHB	5.87	1.61	0.27	3.80	12.30
AHB	3.97	0.81	0.21	2.50	6.00
ICC	5.35	2.49	0.47	2.10	13.80
LRQ	18.17	1.41	0.08	14.50	21.00
RRQ	13.62	0.96	0.07	11.00	16.00
PDU	10.75	1.30	0.12	7.00	13.50
LRB	8.41	1.32	0.16	4.50	10.50
RRB	6.55	0.81	0.12	5.00	8.00
PDI	1.45	0.26	0.18	0.50	1.80
PSE	3.26	1.85	0.57	0.57	9.34
BBS	24.74	9.27	0.37	7.16	45.93
BCS	28.01	10.48	0.37	7.93	51.58
pSB	0.12	0.05	0.40	0.03	0.23

C.V.=coeficiente de variación, HCR=hábito de crecimiento, AF=altura de follaje, AP=Altura de planta, pFP=proporción follaje-planta, DIT=diámetro de tallo, LLH=Longitud de limbo de hoja, ALH=Ancho de limbo de hoja, LHB=Longitud de limbo de hoja bandera, AHB=Ancho de limbo de hoja bandera, ICC=Índice de concentración de clorofila, LRQ=Longitud de raquis, RRQ=número de ramillas en el raquis, PDU=Longitud de pedúnculo, LRB=Longitud de ramilla basal, RRB=Número de ramillas en la ramilla basal, PDI=Longitud del pedicelo de la ramilla basal, PSE=peso de la semilla de toda la inflorescencia, BBS=Peso de biomasa aérea sin semilla, BCS=peso de la biomasa aérea más el peso de la semilla (peso total de biomasa aérea), pSB=proporción semilla-biomasa aérea.

individuos de las P3, P5 y P8, lo cual reduce la posibilidad de que los individuos de la P1 sean un ecotipo diferente. El resto de los individuos se agruparon de manera dispersa en nuevos grupos, sin importar su procedencia o población. Lo anterior indica que por el tiempo que tiene establecido el pasto Rosado en Chihuahua, no ha presentado diversidad morfológica suficiente para ser diferenciado fenotípicamente por poblaciones. En pastos nativos se han realizado estudios de caracterización morfológica y se ha encontrado alta diversidad en Chihuahua (Morales et al., 2013; Morales et al., 2015; Morales et al., 2016). A diferencia de estas especies nativas del norte de México, el pasto Rosado parece no presentar gran variación morfológica en Chihuahua. De manera global se encontró diferencia estadística ($p < 0.001$) multivariada entre poblaciones originales, sin embargo, no todas las poblaciones presentaron diferencias ($p > 0.05$) entre sí. Con respecto a la P0, se esperaba que por las condiciones que se generan en invernadero, sus individuos fueran diferentes a las poblaciones silvestres. No obstante, al comparar entre poblaciones originales la P0 no fue diferente ($p > 0.05$) a las P5, P6, P7 y P10. Así mismo, la P10 no se diferenció ($p > 0.05$) de las P2, P4, P8 y P12. Las únicas poblaciones que presentaron diferencia ($p < 0.05$) entre ellas y con el resto, fueron P1, P3 y P11 (Cuadro 3).

Algunas poblaciones presentaron variabilidad morfológica, no obstante, los rangos de variabilidad entre individuos sugieren que esta especie comparte atributos similares entre poblaciones. Por ejemplo, en los contrastes por variable, la P1 y P0 no fueron diferentes ($p > 0.05$)

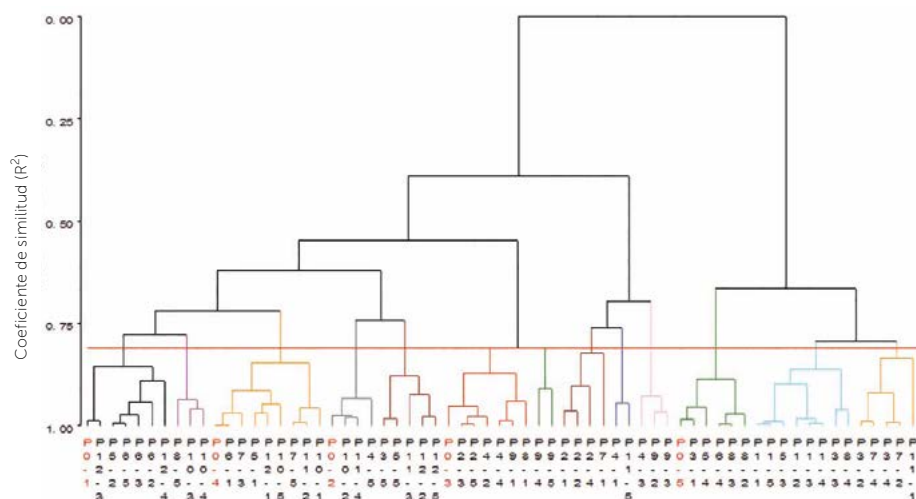


Figura 1. Análisis Clúster por agrupamiento de Ward con base en 20 variables morfológicas cuantitativas, de 65 individuos procedentes de 13 poblaciones de pasto Rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka], distribuidas en Chihuahua, México.

Cuadro 3. Contraste ortogonales con 20 variables morfológicas cuantitativas, entre poblaciones (P) de pasto Rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka] de Chihuahua, México.

Estadístico Lambda (L) de Wilks			
Contraste	Valor L	Valor F	Valor P
P0 vs P5	0.697	0.72	0.7806
P0 vs P6	0.705	0.69	0.8058
P0 vs P7	0.519	1.53	0.1365
P0 vs P10	0.496	1.67	0.0925
P2 vs P4	0.571	1.24	0.2844
P2 vs P10	0.479	1.79	0.0665
P4 vs P10	0.49	1.72	0.0813
P5 vs P6	0.543	1.39	0.196
P5 vs P10	0.486	1.74	0.0766
P6 vs P7	0.543	1.39	0.197
P8 vs P9	0.523	1.5	0.146
P8 vs P10	0.505	1.61	0.1084
P10 vs P12	0.51	1.58	0.1174

$P \leq 0.05$ indica diferencia estadística multivariada entre poblaciones.

en las variables HCR, pFP, DIT, LLH, ALH, ICC, y LRQ. Así mismo, la P3 no fue diferente ($p > 0.05$) de P0 en HCR, AP, DIT, AHB, ICC, RRQ, LRB, RRB, PDI y PSE. La P11 tampoco presentó diferencia ($p > 0.05$) con P0 en AF, AP, pFP, ICC, LRQ, RRQ, PDU, LRB, RRB y PDI. El análisis Clúster mostró que ninguna población se desliga del resto para diferenciarse categóricamente, lo cual limita aseverar que en Chihuahua exista suficiente variabilidad morfológica entre poblaciones de pasto Rosado. Al respecto, Azcón-Bieto y Talón (2013) mencionan que si una misma especie no presenta suficiente variación genética y medioambiental inter e intra poblacional, se estará hablando de un mismo ecotipo. En un estudio de caracterización de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) en Chihuahua, Morales *et al.* (2016) encontraron diversidad morfológica al evaluar 51 poblaciones con nueve descriptores morfológicos. Resultados similares se encontraron en los pastos gigante

(*Leptochloa dubia*; Morales *et al.*, 2013) y tempranero (*Setaria macrostachya*; Morales *et al.*, 2015). De forma semejante, en la región más seca del oeste de Canadá, Schellenberg *et al.* (2012) reportaron variabilidad fenotípica de pasto banderita en nueve poblaciones. Estos investigadores concluyen que al evaluar la variabilidad morfológica, se sientan las bases para seleccionar material genético con aptitud forrajera, resistencia a sequía, retención de suelo, entre otros atributos que pueden contribuir para restauración ecológica y productiva de áreas degradadas.

En la composición nutrimental se encontró que el total de fibras estructurales presentado en este estudio fue relativamente alto, comparado con los resultados de Bezabih *et al.* (2013). Esto investigadores reportan que en praderas semi-áridas de la sabana del Valle del Rift en Etiopía, en el mes de agosto esta especie registró entre 54.2% y 56.4% de FDN. Posiblemente la diferencia de condiciones ambientales, nutrientes en el suelo y otros factores, fueron causa de la diferencia en el contenido de fibras, o bien, la expresión de un genotipo diferente. Sin embargo, la diferencia en contenido de fibras estructurales en la misma etapa fenológica entre Chihuahua y Sudáfrica, fue cercano a 22%, la cual puede ser considerada alta.

Se sabe que de los componentes de FDN, la HEM y CEL pueden ser digeridos por rumiantes y otros herbívoros, por el contrario la LIG es altamente indigestible (Van Soest, 1994; Sawatdeenarunat *et al.*, 2015). Existe información del contenido de lignina para algunos pastos nativos e introducidos en etapa madura (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2004). No obstante, para pasto Rosado solo se hace alusión a que es más indigestible que otras especies por presentar niveles altos de lignina, más no se presentan datos cuantitativos de este polímero. Los valores de LIG que presentaron las poblaciones de pasto Rosado en este estudio, indican que el aporte

es bajo comparado con otras especies nativas e introducidas (Ramírez *et al.*, 2001; Ramírez *et al.*, 2004; Garduño *et al.*, 2015). Las POBS y POBC no presentaron diferencia ($p > 0.05$) en HEM, así como tampoco la POBC fue diferente ($p > 0.05$) a las POBN y POBO. Sin embargo, la POBS tuvo mayor ($p < 0.05$) aporte de HEM que las POBN y POBO.

Cuadro 4. Composición química del pasto Rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka], dividido en cuatro poblaciones (POB) de Chihuahua, México.

POB	% MS	% FDN	% FDA	% LDA	% CEN	% PC
POBO	92.94	79.18	46.26	6.84	8.19	6.29
POBN	93.04	75.63	42.45	5.12	8.46	6.18
POBS	92.90	76.48	45.35	5.79	8.10	6.86
POBC	92.90	73.24	41.76	6.39	8.60	6.02

POBO=población oeste, POBN=población norte, POBS=población sur, POBC=población centro. MS=materia seca, HUM=humedad, FDN=fibra detergente neutro, FDA=fibra detergente ácido, LDA=lignina detergente ácido, CEN=cenizas, PC=proteína cruda.

Los componentes CEL y LIG no presentaron diferencia ($p>0.05$) entre NPO. En PC, la población sur presentó mayor ($p<0.05$) concentración que el resto de las NPO (Figura 2).

En general, el contenido de PC en etapa de madurez osciló de 6.02% a 6.86% en las poblaciones de pasto Rosado. Otros autores mencionan que esta especie presenta valores de PC menores a lo reportado en este estudio. Melgoza *et al.* (2014) muestran valores de 4.0% a 6.0% de PC durante la etapa de crecimiento. Flores *et al.* (2016) indican que en etapa de madurez aporta de 4.6% a 5.2% de PC.

Por otro lado, Bezabih *et al.* (2013) reportan que en pastizales de Etiopía, la PC en pasto Rosado oscila entre 7.7 y 8.3% (valores superiores a los encontrados en este estudio). El entorno medioambiental es un factor que influye en la composición nutrimental de los pastos; y tomando en cuenta lo reportado por otros investigadores, se considera que el contenido de PC del pasto Rosado en Chihuahua, es de regular a bueno. Existen otras alternativas para el aprovechamiento de especies invasoras. En un estudio de caracterización del pasto invasor switchgrass (*Panicum virgatum*), Casler (2005) evaluó la variabilidad en holocelulosa, lignina y cenizas en ecotipos de 33 sitios de Arlington, TX y Marshfield, WI, USA, para determinar potencial de producción para biocombustibles. Además, otros investigadores realizaron un estudio con ratas y encontraron que en Sudamérica, el pasto Rosado posee propiedades para combatir la diabetes (De Paula, 2005). Por lo anterior, puede explorarse la posibilidad de utilizar al pasto Rosado con otros fines para controlarlo y disminuir su dispersión en los ecosistemas pastoriles del estado de Chihuahua, México.

CONCLUSIONES

La diversidad morfológica del pasto Rosado no fue suficiente para inferir que existe variabilidad genética entre poblaciones evaluadas. Se determinó su composición nutrimental y se registró que el contenido de proteína cruda puede diferir de acuerdo a su localización. Por el aporte de proteína cruda y lignina registrada, se infiere que su valor forrajero puede ser clasificado de regular a bueno, sin embargo, se sugiere determinar su digestibilidad. Se recomienda dar seguimiento a la ca-

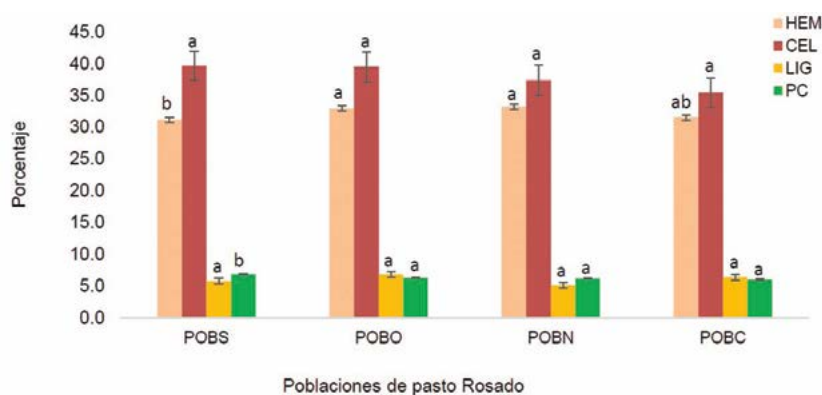


Figura 2. Medias $\pm$ error estándar y agrupamiento Tukey, de composición química nutrimental en poblaciones silvestres de pasto Rosado [*Melinis repens* (Willd.) Zizka], distribuido en el estado de Chihuahua. POBO=población oeste, POBN=población norte, POBS=población sur, POBC=población centro. HEM=hemicelulosa, CEL=celulosa, LIG=lignina, PC=proteína cruda.

racterización de esta especie a nivel nacional, con el fin de facilitar su manejo para reducir o evitar su expansión.

LITERATURA CITADA

- Archer A.W., Maples C.G. 1987. Monte Carlo Simulation of Selected Binomial Similarity Coefficients (I): Effect of Number of Variables. *PALAIOS*. 2:609-617.
- Azcón-Bieto J., Talón M. 2013. Fundamentos de fisiología vegetal. 2ª Ed. McGraw-Hill. Barcelona España.
- Bezabih M., Pellikaan W.F., Tolera A., Khan N.A., Hendriks W.H. 2013. Chemical composition and in vitro total gas and methane production of forage species from the Mid Rift Valley grasslands of Ethiopia. *Grass and Forage Science*. 69:635-643.
- Brutnell P., Bennetzen J.L., Vogel J.P. 2015. *Brachypodium distachyon* and *Setaria viridis*: Model Genetic Systems for the Grasses. *Annual Review of Plant Biology*. 66:465-48.
- Casler M.D. 2005. Ecotypic variation among switchgrass populations from the Northern USA. *Crop Sci*. 45:388-398.
- De Paula A.C., Sousa R.V., Figueiredo-Ribero R.C., Buckeridge M.S. 2005. Hypoglycemic activity of polysaccharide fractions containing β -glucans from extracts of *Rhynchelytrum repens* (Willd.) C.E. Hubb., Poaceae. *Braz J Med Biol Res*. 38:885-893.
- Flores E., Luna M., Haubi C., Díaz A., Luna J.J. 2016. Efecto del fuego en producción y calidad de zacate rosado en Aguascalientes. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 7:1271-1281.
- Garduño V.S., Rodríguez R., Quero A. R., Enriquez J.F., Hernández A., Pérez A. 2015. Evaluación morfológica, citológica y valor nutritivo de siete nuevos genotipos y un cultivar de pasto *Cenchrus ciliaris* L., tolerantes a frío. *Rev. Mex. Cienc. Agr.* 6:1679-1687.
- Goering H.K., Van Soest P.J. 1970. Forage Fiber Analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications). *Agric. Handbook No. 379*. USDA-ARS, Washinton, DC. 20 p.
- Guiot G.J.D., Salomé S., Quero A.R., Carballo A., Enríquez J., Beltrán S. 2014. Guía técnica para la descripción varietal de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). *Guía Técnica Varietal*. SNICS-SAGARPA. México. 22 p.
- Häfliger E., Scholz H. 1980. Grass weeds I. Ciba-Geigy Ltd. Basle, Switzerland.

- Herrera A.Y., Pámanes D.S. 2006. Guía de pastos para el ganadero del Estado de Durango. IPN- COCyTED, CIIDIR Unidad Durango. Durango, México.
- Herrera-Arrieta, Y., Cortés-Ortiz A. 2009. Diversidad de las gramíneas de Durango, México. Polibotánica. 28:49-68.
- Hitchcock A.S. 1950. Manual of the grasses of the United States, 2a ed. Miscellaneous Publication. United States Department of Agriculture. Washington, DC.
- INEGI. 2015. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Anuario estadístico y geográfico de Chihuahua. Ed. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, México.
- Melgoza C.A., Morales C.R., Sierra J.S., Royo M.H., Quintana G., Lebgue T. 2016. Manual práctico para la identificación de las principales plantas en los agostaderos de Chihuahua. 3a ed. Comunicación Creativa Taller Gráfico. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, Chih.
- Melgoza C.A., Valladares M.I., Mata R., Pinedo C. 2014. Biología del pasto Rosado *Melinis repens* e implicaciones para su aprovechamiento o control. Revisión. Rev Mex Cienc Pecu. 5:429-442.
- Morales N.C.R., Melgoza A., Jurado P.S., Martínez M., Avendaño C.H. 2012. Caracterización fenotípica y molecular de poblaciones de zacate punta blanca (*Digitaria californica* (Benth.) Henr.). Rev Mex Cienc Pecu. 3:171-184.
- Morales N.C.R., Avendaño C.H., Melgoza A., Gil K., Quero A.R., Jurado P., Martínez M. 2016. Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de pasto banderita (*Bouteloua curtipendula*) en Chihuahua, México. Rev Mex Cienc Pecu 7:455-469.
- Morales N.C.R., Avendaño-Arrazate C.H., Melgoza A., Martínez M., Jurado P. 2015. Caracterización morfológica y molecular de poblaciones de zacate temprano [(*Setaria macrostachya*) Kunth]. FYTON. 84:190-200.
- Morales N.C.R., Rivero-Hernández O., Melgoza C.A., Jurado G.P., Martínez S. M. 2013. Caracterización morfológica y molecular de *Leptochloa dubia* (Poaceae) en Chihuahua, México. Polibotánica. 36:79-94.
- Quero C.A.R., Guiot J.D., Salinas S., Enríquez J.F. Beltrán S., Tovar M.R., Cruz B. 2014. Guía técnica para la descripción varietal de pasto banderita [*Bouteloua curtipendula* (Michx.)Torr.]. Guía Técnica Varietal. SNICS-SAGARPA. México. 23 p.
- Ramírez L.R.G., Enríquez M.A. Lozano G.F. 2001. Valor nutricional y degradabilidad ruminal del zacate buffel y nueve zacates nativos del NE de México. CIENCIA UANL. 4:314-321.
- Ramírez R.G., Haenlein G.F.W., García-Castillo C.G., Núñez-González M.A. 2004. Protein, lignin and mineral contents and in situ dry matter digestibility of native Mexican grasses consumed by range goats. Small Ruminant Research. 52:261-269.
- SAS Institute Inc. 2006. Statistical Analysis System 9.1.3 User's guide. Cary, NC, USA.
- Sawatdeenarunat C., Surendraa K.C., Takaraa D., Oechsnerb H., Khanal S.K. 2015. Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: Challenges and opportunities. Bioresource Technology. 178:178-186.
- Schellenberg M.P., Biligetu B., McLeod G.J., Wang Z. 2012. Phenotypic variation of side-oats grama grass [*Bouteloua curtipendula* (Michx.) Torr.] collections from the Canadian prairie. Can J Pl Sci. 92:1043-1048.
- Silva C., Snak C., Schnadelbach A.S., van den Berg C., Oliveira R.P. 2015. Phylogenetic relationships of *Echinolaena* and *Ichnanthus* within *Panicoideae* (Poaceae) reveal two new genera of tropical grasses. Mol. Phylogenet. Evol. 93:212-233.
- Van Soest P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. 2nd Ed. Comstock, Cornell Univ. Press, Ithaca, NY.
- Vega-Dienstmaier J.M., Arévalo-Flores J.M. 2014. Clasificación mediante análisis de conglomerados: un método relevante para la psiquiatría. Rev Neuropsiquiatr. 77:31-39.
- Vicentini A., Barber J.C., Aliscioni S.A., Giussani L.M., Kellogg E.A. 2008. The age of the grasses and clusters of origins of C4 photosynthesis. Glob Chang Biol. 14:2963-2977.



IMPORTANCIA DEL PASTO BUFFEL (*Pennisetum ciliare* L.) EN EL ESTADO DE TAMAULIPAS, MÉXICO

IMPORTANCE OF BUFFEL GRASS (*Pennisetum ciliare* L.) IN THE STATE OF TAMAULIPAS, MÉXICO

Garay-Martínez, J.R.¹; Joaquín-Cancino, S.^{1*}; Estrada-Drouaillet, B.¹; Martínez-González, J.C.¹; Limas-Martínez, A.G.¹

¹Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad Autónoma de Tamaulipas. Centro Universitario Campus Victoria, Edificio Centro de Gestión del Conocimiento 4° Piso. Cd. Victoria, Tamaulipas, México. 87120.

*Autor de correspondencia: sjoaquin@uat.edu.mx

RESUMEN

El pasto Buffel (*Pennisetum ciliare* L.) proveniente de África se introdujo a Tamaulipas, México, estableciendo más de 260 000 ha en el año 2007, para utilizarlo como forraje en la alimentación animal en condiciones de pastoreo, ya que presenta rendimientos de materia seca de 14 a 20 t ha⁻¹ año⁻¹ y contenidos de proteína de 6-15%. También se ha establecido en zonas áridas y semiáridas, para evitar los escurrimientos superficiales y con ello a la erosión hídrica del suelo. Se propaga rápidamente en áreas naturales, por lo que ha llegado a ser considerada especie invasora; es tolerante a la sequía e incendios, como consecuencia altera los regímenes de fuego y con ello desplaza a la flora y fauna nativa. El pasto Buffel es una opción para la alimentación del ganado, sin embargo, por su persistencia y fácil propagación puede llegar a afectar el equilibrio del ecosistema.

Palabras clave: forrajes, Poaceae, especie invasora, alimentación animal, propagación.

ABSTRACT

Buffel grass (*Pennisetum ciliare* L.) from Africa was introduced into Tamaulipas, México, establishing more than 260 000 ha in the year 2007, in order to use it as fodder in animal diets under grazing conditions, since it presents dry matter yields of 14 to 20 t ha⁻¹ year⁻¹ and protein contents of 6-15%. It has also been established in arid and semiarid zones to avoid superficial runoffs and with this soil water erosion. It propagates rapidly in natural areas, so it has come to be considered an invading species; it is tolerant to drought and fires and consequently alters the fire regimes and with this it displaces the native flora and fauna. Buffel grass is an option for livestock diet, although due to its persistence and easy propagation, it can affect the equilibrium of the ecosystem.

Keywords: fodder, Poaceae, invading species, animal diet, propagation.

INTRODUCCIÓN

La ganadería es una de las actividades de sector primario de gran importancia para el estado de Tamaulipas, México, a tal grado que se encuentra entre los 12 estados con mayor inventario de ganado bovino productor de carne y ovino, con más de 1.3 millones y 253 mil cabezas respectivamente. Ocupa el onceavo lugar en ganado caprino, con más de 274 mil cabezas (SIAP, 2015). El estado, dedica el 58% del territorio (4.67 millones de hectáreas) a la actividad antes mencionada, donde 22% de esta actividad se realiza en praderas inducidas y/o introducidas y 78% bajo condiciones de agostaderos (SAGARPA, 2010). En ambas condiciones, las principales gramíneas forrajeras utilizadas son pasto Bermuda (*Cynodon dactylon* L.) en condiciones de riego y pasto Buffel (*Pennisetum ciliare* L.) en condiciones de temporal (Gómez et al., 2007; Castillo, 2015). La utilización de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare* L.) (Poaceae) en las regiones áridas y semiáridas de Tamaulipas, ha permitido incrementar la producción ganadera, debido a que presenta rendimientos de materia seca y calidad nutrimental superiores a las (gramíneas) Poaceas nativas, y con ello, se logró disminuir el coeficiente de agostadero de 12 a 4 ha por unidad animal (Hanselka, 1985). Esta especie forrajera fue aceptada rápidamente, y cultivada por los ganaderos, y por consiguiente, para el año de 1991 se estimaron entre 4 y 6 millones de hectáreas en territorio mexicano (Cox, 1991). En este sentido, para el año 2007 en Tamaulipas predominaban 260 000 ha de Buffel común (Díaz et al., 2007), debido principalmente a su alta tolerancia a la sequía, capacidad de soportar el pastoreo intensivo y propagación exitosa (Quiroga et al., 2013). Sin embargo, esta última característica que en un inicio permitió el rápido establecimiento de praderas de pasto Buffel, posteriormente, se convirtió en un problema a tal grado de ser considerada una especie invasora, ya que altera significativamente el régimen de incendios forestales y contribuye a propagar fuegos de alta intensidad (Marshall et al., 2012; Schlesinger et al., 2013). Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue analizar la importancia de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare* L.) en los sistemas agropecuarios y el impacto ecológico en el estado de Tamaulipas, México.



Figura 1. Pradera de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*) en floración.

se utilizó para controlar la erosión hídrica y eólica de las zonas áridas y semiáridas (Loredo et al., 2005). El pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*) se distribuye ampliamente en los pastizales áridos tropicales y subtropicales de todo el mundo (Marshall et al., 2012). Es una planta perenne rizomatosa, de crecimiento amacollado, con tallos erectos que llegan a medir de 0.15 a 1.2 m de altura, hojas que van de 3 a 30 cm de largo y de 0.3 a 2.3 cm de ancho. Posee una panícula compacta de 2 a 13 cm de largo y de 1 a 2.5 cm de ancho, de forma cilíndrica generalmente púrpura o blanquecina (Figura 1), con rendimiento

de semilla aceptable y cuyo periodo de latencia va de 9 a 12 meses después de la cosecha (Enríquez y Quero, 2006; Rodríguez y Mendoza, 2013). El tamaño de su cariósipide es mayor en comparación a las "gramíneas" nativas, lo que le permite a la planta tener ventajas al momento

de germinar y emerger (Hernández-Guzmán et al., 2015). El pasto buffel se establece adecuadamente en suelos con buen drenaje, texturas que van de franco-arenosa a franco-arcillosa, así mismo, se desarrolla mejor en suelos ligeramente alcalinos y requiere precipitación anual mayor a 350 mm (Enríquez y Quero, 2006). Los diferentes cultivares de pasto Buffel tienen gran capacidad de amacollamiento y cobertura del suelo, debido a que las plantas presentan en promedio 27 y 107 tallos planta⁻¹, durante el primer y segundo año, respectivamente, después de la siembra (Saini et al., 2007) (Figura 1).

Introducción de pasto Buffel a América

El pasto Buffel (*Pennisetum ciliare* L.) es originario del continente africano y se introdujo al estado de Texas (Estados Unidos de América) y norte de México entre los años 1930 y 1940 (Cox et al., 1988), con el objetivo de recuperar los pastizales degradados, donde rápidamente fue aceptado y cultivado por su exitosa propagación, ya que es tolerante a la sequía y soporta el pastoreo intensivo (Marshall et al., 2012; Quiroga et al., 2013). Posteriormente, también

Utilización en el sector agropecuario

En estado de Tamaulipas, el 22% del territorio está representado por pastizales, donde las principales especies que se encuentran son: *Cynodon plectostachyus*, *Panicum maximum*, *Digitaria decumbens*, *Aristida wrightii* y *Pennisetum ciliare* (INEGI, 2014). En la región semiárida de Tamaulipas, el pasto forrajero predominante es el pasto Buffel común (Díaz *et al.*, 2007), donde el rendimiento de materia seca es influenciado por el tipo de cultivar que se esté utilizando (Velásquez *et al.*, 2014a), entre los que destacan los cultivares Pecos, Laredo, Nueces, Biloela, Milenio, H-17, entre otros. Las variaciones de temperatura y precipitación durante el año tienen efecto significativo en el rendimiento de forraje (Martínez-López *et al.*, 2014), por lo que antes del periodo de lluvias, pasto Buffel se encuentra en estado de latencia y se reactiva la actividad biológica a la llegada de las lluvias (Hussain *et al.*, 2015), que en Tamaulipas, regularmente sucede durante los meses de mayo a octubre, periodo donde se presenta la máxima precipitación (Gómez *et al.*, 2007). El pasto Buffel puede alcanzar rendimientos de materia seca de hasta 5 t ha⁻¹ entre 80 y 95 días posteriores a la emergencia de la planta (Neto *et al.*, 2000) y el rendimiento promedio anual oscila entre 14 y 20 t ha⁻¹, con contenidos de proteína cruda de 6% a 15%, dependiendo de la edad de rebrote (Saini *et al.*, 2007; Osman *et al.*, 2008) y este forraje se puede aprovechar mediante el pastoreo. En este sentido, cuando el ganado está en condiciones de pastoreo y el forraje es la única fuente de alimento (Figura 2), la concentración mínima de proteína cruda en el forraje debe ser de 7% para apoyar la actividad óptima de la población de microorganismos y garantizar la digestión adecuada de la fibra en el rumen (Norton, 1994; Belachew *et al.*, 2013), de tal forma que ello satisface los requerimientos nutrimentales de mantenimiento en los rumiantes, e incluso se han llegado a obtener ganancias de 830 g animal d⁻¹ en novillos (*Bos indicus* × *Bos taurus*) bajo condiciones de pastoreo (Shelton y Dalzell, 2007) (Figura 2).

Bien sea que el ganado aproveche directamente el forraje de la pradera o se coseche por medios mecáni-

cos, se debe considerar la edad de rebrote de la pradera, ya que afecta significativamente la proporción de los componentes morfológicos (hoja, tallo, material muerto); es decir, a mayor edad, disminuye la proporción de hojas y aumentan la de tallos y material muerto (Garay *et al.*, 2017), lo cual podría reducir la calidad del forraje y como consecuencia afectar las ganancias de peso de los animales. En este sentido, este pasto también puede ser utilizado como fuente de fibra en dietas para rumiantes, cuando se encuentran bajo condiciones de producción intensiva, llegando a obtener ganancias de hasta 83 g animal d⁻¹ en ovinos de la raza Dorper, cuando la dieta se compone de 69% de pasto Buffel, 30% de salvado de sorgo y 1% de minerales (Walker, 2013).

Esta especie forrajera ha prosperado en gran parte de Tamaulipas, por que presenta alta resistencia a la sequía (Tommasino *et al.*, 2012), debido a la acumulación de reservas (carbohidratos) en la base de los tallos y raíces (Humphreys, 1967). Otra característica que le permite prosperar en ambientes donde la precipitación es escasa, es el uso eficiente del agua en comparación con otros pastos, razón por la cual, ha alcanzado rendimientos de materia seca de hasta 1.07 kg m⁻³ de agua (Osman *et al.*, 2008). En los últimos años se han implementado cruzamientos entre líneas sexuales y cultivares apomícticos de pasto Buffel, y mediante la técnica de marcadores moleculares se pretende obtener nuevos genotipos que presenten mayor rendimiento y calidad del forraje (Quiroga *et al.*, 2013). Existen investigaciones donde se ha incluido esta especie en los sistemas silvopastoriles, asociada con árboles de *Prosopis* spp. (Ríos-Saucedo *et al.*, 2012) y *Leucaena leucocephala* (Sánchez y Faria, 2013), para optimizar el aprovechamiento de los recursos naturales y mantener la productividad en los sistemas agropecuarios (Ku Vera *et al.*, 2014).



Figura 2. Ganado bovino pastoreando en praderas de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*).

Impacto ecológico

El crecimiento agropecuario, con el cambio de uso de suelo ha sido la principal causa de la pérdida de la vegetación nativa (Cuevas *et al.*, 2010); por ello, extensas superficies de flora han sido eliminadas para el establecimiento de

praderas (SAGARPA, 2010). En este sentido, en la década de 1940 se introdujo a *Pennisetum ciliare*, para establecer nuevas praderas e incrementar la producción en los sistemas ganaderos (Tinoco-Ojanguren et al., 2016). Al mismo tiempo, se presentaron cambios en el suelo donde se estableció esta gramínea, ya que incrementó el carbono de la masa microbiana de 1.6 veces en praderas de pasto Buffel en comparación con la vegetación nativa, lo cual pudo deberse a que la descomposición de las raíces del pasto Buffel aportaron el 90% de la entrada de carbono al suelo (Morales-Romero et al., 2015). Así mismo, en los suelos donde existió esta especie, aumentó la infiltración del agua al suelo y con ello, se redujeron escurrimientos superficiales y por consiguiente la erosión hídrica del suelo (Velásquez et al., 2014b; Cruz et al., 2016). A pesar de que

pasto Buffel puede traer algunos beneficios, también existe la contraparte, puesto que en la última década se le ha considerado como una especie invasora, provocando un problema grave en suroeste de Estados Unidos de América y en el noreste de México (Lyons et al., 2013; Tinoco-Ojanguren et al., 2016). Después de la destrucción del hábitat, el impacto ecológico por la invasión de especies vegetales exóticas en las comunidades de plantas nativas ha sido identificada como la segunda causa de la pérdida de biodiversidad a nivel global (Leung et al., 2002; Ehrenfeld, 2010). El número de especies introducidas desde otras partes del mundo están en constante aumento, y cuando se salen de control causan impacto tanto económico como ambiental (Leung et al., 2002; Martin et al., 2015); como sucedió en el Parque Nacional Saguaro en el estado de Arizona, EUA; donde se encuentran amenazados el Sahuaro (*Carnegiea gigantea*) y el Palo Verde (*Cercidium microphyllum*) (Schiermeier, 2005; Marshall et al., 2012). Las especies invasoras desplazan a las especies nativas de fauna y flora, debido a que son más eficientes en el aprovechamiento de los recursos naturales; pueden alterar el hábitat, dado que en zonas áridas y semiáridas promueven regímenes anómalos de fuego que afectan significativamente a la

vegetación nativa (Marshall et al., 2012). El pasto Buffel tiene la capacidad de rebrotar y germinar bajo un amplio rango de condiciones ambientales (Villa-Reyes y Barrera, 2016), incluso después de un incendio (Figura 3), ya que presenta una serie de estructuras en la semilla que le permiten protegerse de altas temperaturas, que pueden ser de hasta 120 °C (McDonald y McPherson, 2013; Tinoco-Ojanguren et al., 2016), por ello es común que esta gramínea aparezca después de ocurrir este tipo de eventos (Fensham et al., 2012; Marshall et al., 2012).



Figura 3. Capacidad de rebrote de pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*) posterior a un incendio.

En Tamaulipas, existen más de 324 mil hectáreas que corresponden al Matorral Espinoso Tamaulipeco que facilitan condiciones necesarias para la distribución potencial del pasto Buffel, principalmente en el tipo de vegetación antes mencionada (Arriaga et al., 2004); sin embargo, no existe información

que mencione concretamente el impacto ecológico del pasto Buffel en dicha región, pero debido a su comportamiento reportado en otros estados de México, (Arriaga et al., 2004) y en Estados Unidos de América (Marshall et al., 2012), pudiese estar afectando a las áreas naturales del estado.

CONCLUSIONES

El pasto Buffel (*Pennisetum ciliare*) es una gramínea tolerante a la sequía, resistente al pastoreo intensivo, de rápido crecimiento y mayor producción de semilla, en comparación con las especies nativas; características que la hacen valiosa como forrajera en el estado de Tamaulipas. Sin embargo, al no existir control de su dispersión, puede afectar áreas naturales, razón por la cual se le puede considerar especie invasora. No se encontraron reportes para el grado de invasión de esta especie en Tamaulipas, pero por las características de la especie y lo reportado en otras partes de México y EUA, pudiera estar afectando al Matorral Espinoso Tamaulipeco y otras áreas naturales del estado, por lo que sería importante realizar un estudio para conocer la situación de esta especie.

LITERATURA CITADA

- Arriaga L., Castellanos, A. E., Moreno E., Alarcón J. 2004. Potential ecological distribution of alien invasive species and risk assessment: a case study of buffel grass in arid regions of Mexico. *Conservation Biology* 18 (6): 1504-1514.
- Belachew Z., Yisehak K., Taye T., Janssens G. P. J. 2013. Chemical composition and in sacco ruminal degradation of tropical trees rich in condensed tannins. *Czech Journal of Animal Science* 58(4): 176-192.
- Castillo T., H. 2015. Cultivo de pasto de rye para la alimentación del ganado en la época invernal en el norte y centro de Tamaulipas. SAGARPA-INIFAP. México. 2 p.
- Cox J. R. 1991. El zacate buffel: Historia y establecimiento, un acercamiento internacional para seleccionar sitios de siembra e implicaciones en la agricultura del futuro. En: Aguirre A., Candanosa E., Gómez E. (eds.). *Aprovechamiento Integral del Zacate Buffel*. Simposium Internacional. Séptimo Congreso Nacional Sobre Manejo de Pastizales Tamaulipas, México. SOMMAP. 60-66 pp.
- Cox J.R., Martin M.H., Ibarra F.A., Fourie J. H., Rethman N.F.G., Wilcox D.G. 1988. The influence of climate and soils on the distribution of four African grasses. *Journal of Range Management* 41:127-139.
- Cruz A., Pedroza A., Trejo R., Sánchez I., Samaniego J.A., Hernández R. 2016. Captación de agua de lluvia y retención de humedad edáfica en el establecimiento de buffel (*Cenchrus ciliaris* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias* 7(2):159-172.
- Cuevas M.L., Garrido A., Pérez J.L., González D.I. 2010. Procesos de cambio de uso de suelo y degradación de la vegetación natural. En: Cotler H. (ed.). *Las cuencas hidrográficas de México. Diagnóstico y priorización*. SEMARNAT, INE y Fundación G. Río Arriente IAP, México. 96-103 pp.
- Díaz F.A., Méndez R.A., Garza, R. 2007. Tizón foliar del pasto Buffel: su presencia en Tamaulipas, México. *Agricultura Técnica en México* 33(3): 285-295.
- Ehrenfeld J.G. 2010. Ecosystem consequences of biological invasions. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics* 41: 59-80.
- Enríquez J.F., Quero A. R. 2006. Producción de semillas de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales. INIFAP-CIRGOC, México. 109 p.
- Fensham R.J., Donald S., Dwyer M. 2012. Propagule pressure, not fire or cattle grazing, promotes invasion of buffel grass *Cenchrus ciliaris*. *Journal of Applied Ecology* 50(1):138-146.
- Garay J. R., Joaquín S., Estrada E., Martínez J. C., Hernández J., Limas A. G. 2017. Rendimiento de forraje y componentes morfológicos de *Pennisetum ciliare* cv. H-17 a tres frecuencias de corte. En: Cantú A., González E. A., López R., Ávila J. M., Ramírez M. (comp.). *IV Congreso Mundial de Ganadería Tropical 2017*. Tamaulipas, México. 9 p.
- Gómez E., Díaz H., Saldívar A., Briones F., Vargas V., Grant W. 2007. Patrón de crecimiento de pasto buffel [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Sin. *Cenchrus ciliaris* L.] en Tamaulipas, México. *Técnica Pecuaria en México* 45(1):1-17.
- Hanselka C. W. 1985. Grazing management strategies for buffel grass (*Cenchrus ciliaris* L.). In: Runge E. C. A., Schuster J. L. (eds.). *Buffelgrass: Adaptation, management and forage quality*. Proceedings of Texas A&M University Research Extension Center Symposium. Texas, USA. 22 pp.
- Hernández-Guzmán F.J., Quero-Carrillo A.R., Pérez-Rodríguez P., Velázquez-Martínez M., García-de los Santos G. 2015. Germinación y emergencia de propágulos de pasto en respuesta a pruebas de vigor. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6(7):1519-1532.
- Humphreys L.R. 1967. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) in Australia. *Tropical Grasslands* 1:123-130.
- Hussain M. Z., Saraswathi G., Lalrammawia C., Otieno D., Paliwal K., Tenhunen J. 2015. Leaf and ecosystem gas exchange responses of Buffel grass dominated grassland to summer precipitation. *Pedosphere* 25(1): 112-123.
- INEGI. 2014. Anuario estadístico y geográfico de Tamaulipas 2014. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. México. 528 p.
- Ku Vera J.C., Briceño E.G., Ruiz A., Mayo R., Ayala A.J., Aguilar C.F., Solorio F.J., Ramírez L. 2014. Manipulación del metabolismo energético de los rumiantes en los trópicos: opciones para mejorar la producción y la calidad de la carne y leche. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 48(1): 43-53.
- Leung B., Lodge, D.M., Finnoff D., Shogren J.F., Lewis M.A. Lamberti G. 2002. An ounce of prevention or a pound of cure: Bioeconomic risk analysis of invasive species. *Proceedings of the Royal Society of London B*. 269: 2407-2413.
- Loredo C., Beltrán L.S., Villanueva D.J.Y, Urrutia J. 2005. Establecimiento de pasto Buffel para el control de la erosión hídrica. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 32 p.
- Lyons K.G., Maldonado-Leal B.G., Owen G. 2013. Community and Ecosystem effects of Buffelgrass (*Pennisetum ciliare*) and nitrogen deposition in the Sonoran Desert. *Invasive Plant Science and Management*. 6(1): 65-78.
- Marshall V.M., Lewis M.M., Ostendorf B. 2012. Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) as an invader and threat to biodiversity in arid environments: A review. *Journal of Arid Environments*. 78:1-12.
- Martin T.G., Murphy H., Liedloff A., Thomas C., Chadès L., Cook G., Fensham R., Mcivor J., Van-Klinken R.D. 2015. Buffel grass and climate change: a framework for projecting invasive species distributions when data are scarce. *Biological Invasions*. 17(11): 3197-3210.
- Martínez-López J.R., Gutiérrez-Ornelas E., Barrera-Silva M.A., Retes-López, R. 2014. Simulación estocástica para praderas de pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en Marín, N. L., México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 17:87-104.
- McDonald C.J., McPherson G.R. 2013. Creating hotter fires in the Sonoran Desert: buffelgrass produces copious fuels and high fire temperatures. *Fire Ecology*. 9(2): 26-39.
- Morales-Romero D., Campo J., Godínez-Alvarez H., Molina-Freanera F. 2015. Soil carbon, nitrogen and phosphorus changes from conversion of thornscrub to buffelgrass pasture in northwestern Mexico. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 199(1): 231-237.
- Neto J.D., Silva F.A.S., Furtado D.A. Matos J.A. 2000. Influência da precipitação e idade da planta na produção e composição química do capim-buffel. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(9):1867-1874.
- Norton B.W. 1994. The nutritive value of tree legumes. In: Gutteridge R.C. (ed.). *Forage Tree Legumes in Tropical Agriculture*. Centre for Agricultural Bioscience International. Wallingford, United Kingdom. 177-191 pp.

- Osman A.E., Makawi M., Ahmed R. 2008. Potential of the indigenous desert grasses of the Arabian Peninsula for forage production in a water-scarce region. *Grass and Forage Science*. 66(4):495-503.
- Quiroga M., Grunberg K., Ribotta A., López C.E., Carloni E., Tommasino E., Luna C., Griffa S. 2013. Obtaining sexual genotypes for breeding in buffel grass. *South African Journal of Botany*. 88:118-123.
- Ríos-Saucedo J.C., Valenzuela-Núñez L.M., Rivera-González M., Trucíos-Caciano R., Sosa-Pérez G. 2012. Diseño de un sistema silvopastoril en zonas degradadas con mezquite en Chihuahua, México. *TECNOCIENCIAChihuahua*. 6(3):174-180.
- Rodríguez C.B., Mendoza P.S.I. 2013. Gramíneas y leguminosas de Veracruz. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 394 p.
- SAGARPA. 2010. Informe de Evaluación Externa Estatal de los Programas en Coejercicio. Diagnóstico Sectorial 2009. SAGARPA y Gobierno del Estado de Tamaulipas. México. 140 p.
- Saini M.L., Jain P., Joshi U.N. 2007. Morphological characteristics and nutritive value of some grass species in an arid ecosystem. *Grass and Forage Science*, 62(1):104-108.
- Sánchez A., Faria J. 2013. Efecto de la madurez de la planta en el contenido de nutrientes y la digestibilidad en una asociación *Cenchrus ciliaris*-*Leucaena leucocephala*. *Zootecnia Tropical*. 31(1): 16-23.
- Schiermeier Q. 2005. Pall hangs over desert's future as alien weeds fuel wildfires. *Nature*. 435: 724-734.
- Schlesinger C., White S., Muldoon S. 2013. Spatial pattern and severity of fire in areas with and without buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) and effects on native vegetation in central Australia. *Austral Ecology*. 38(7): 831-840.
- Shelton M., Dalzell S. 2007. Production, economic and environmental benefits of leucaena pastures. *Tropical Grasslands*. 41:174-190.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2015. Población Ganadera 2006-2015. SAGARPA-SIAP. En Línea: <https://www.gob.mx/siap/documentos/poblacion-ganadera>
- Tinoco-Ojanguren C., Reyes-Ortega I., Sánchez-Coronado M.E., Molina-Freaner, F., Orozco-Segovia A. 2016. Germination of an invasive *Cenchrus ciliaris* L. (buffel grass) population of the Sonoran Desert under various environmental conditions. *South African Journal of Botany*. 104: 112-117.
- Tommasino E., Griffa S., Grunberg K., Ribotta A., López C.E., Carloni E., Quiroga, M., Luna C.M. 2012. Malondialdehyde content as a potential biochemical indicator of tolerant *Cenchrus ciliaris* L. genotypes under heat stress treatment. *Grass and Forage Science*. 67(3):456-459.
- Velásquez M.A., Muñoz J.A., Macías H., Esquivel G., Rivera M. 2014a. Producción de forraje de variedades de zacate Buffel [*Pennisetum ciliare* L. (Link.) Sin. *Cenchrus ciliaris* L.] en la región árida del estado de Durango, México. *AGROFAZ*. 14(1): 69-76.
- Velásquez M.A., Sánchez I., Gutiérrez R., Muñoz J.A., Macías H. 2014b. Impacto hidrológico del cambio de uso del suelo de un pastizal nativo a praderas de zacate buffel (*Pennisetum ciliare* L.). *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 13(2):47-58.
- Villa-Reyes F., Barrera E. 2016. Environmental cues for germination of the invasive bunch grass *Pennisetum ciliare* (L.) Link. *Acta Physiologiae Plantarum*. 38(5):1-8.
- Walker K.P. 2013. Performance of dorper lambs fed buffel grass and browse as basal diet and sorghum bran as supplement. *International Journal of Plant and Animal Sciences*. 1(2): 37-41.

UNA APROXIMACIÓN FILOSÓFICA AL CONCEPTO DE NATURALEZA

A PHILOSOPHICAL APPROACH TO THE CONCEPT OF NATURE

Morandín-Ahuerma, F.^{1*}

¹Centro de Investigaciones Filosóficas, Miñones 2073, Belgrano, Buenos Aires, Argentina, C1428ATE.

***Autor para correspondencia:** fabiomorandin.a@gmail.com

RESUMEN

El presente artículo es una elucidación filosófica sobre el concepto de naturaleza en relación con el hombre. No es ociosa la pregunta: ¿Existe algo como la naturaleza, o es sólo un modo de concatenar todo aquello que no ha sido hecho por el hombre? Dado que, cómo se construya dicho concepto, será la dimensión ética, política e instrumental que se adopte. Se analiza también el concepto de la vida. Se concluye que las soluciones para la sustentabilidad de la biósfera deben ser radicales y no se necesita llegar a depender del fantasma de nuestra desaparición como especie para tomar decisiones definitivas y de largo plazo.

Palabras clave: ontología; Physis, realidad, hombre.

ABSTRACT

This article is a philosophical elucidation about the concept of nature in relation to man. The question is not idle: is there something such as nature, or is it only a way of stringing together everything that is not man-made? Given that the ethical, political and instrumental dimension that will be adopted depends on the way in which this concept is constructed. The concept of life is also analyzed. It is concluded that the solutions for biosphere sustainability must be radical and that there is no need to depend on the ghost of our disappearance as a species to make definitive and long-term decisions.

Keywords: ontology; Physis; Reality; Man.

Agroproductividad: Vol. 10, Núm. 10, octubre. 2017, pp: 116-120.

Recibido: marzo, 2017. **Aceptado:** agosto, 2017.

INTRODUCCIÓN

Naturaleza y bioética

Si el hombre es capaz de reunir en una noción el concepto griego de φύσις [physis], ¿podríamos sostener que naturaleza es una construcción intelectual, más allá de lo fenoménico? Si otorgamos que la physis es una parte de la cultura y no una entidad, se trataría únicamente de un constructo mental del ser humano. Si bien la naturaleza tiene un carácter de unidad, no forzosamente teológico-antropológico como creación, aún esconde secretos sobre su estructura, por lo menos para el hombre. La pregunta más relevante para este trabajo sería entonces: ¿Existe algo como la naturaleza, o es sólo un concepto para reunir todo aquello que no ha sido hecho por el hombre?

Las concepciones de naturaleza difieren entre las comunidades de conocimiento; mientras que para unos como Artigas (1995) la objetivación de la mirada a la naturaleza hace que esta sea un referente hacia la trascendencia, para otros como Martínez y Schlupman (1991) es una cosificación, un activo, propiedad privatizable para ser explotada. En contraste, los antiguos chinos solían ver en el transcurso del tiempo una línea cíclica, infinita, interminable que, así como el día y la noche, y el otoño que precede al invierno, el tiempo es un factor fundamental que se percibe por ciclos, y la naturaleza atiende una orientación, más allá de lo inmanente. Las imágenes de su arte, icónica y sagrada, representan la belleza, el orden y la perfección del cosmos; cuanto más cerca se esté de la naturaleza, sostiene Zhuang (1992), más próximo se estará de la esencia del ser humano. La visión occidental es mayormente que la biósfera le pertenece al hombre y que, por tanto, está a su servicio para ser explotada. El enfoque de que la naturaleza está ligada a la economía hace de esta una fuente inagotable de materias primas para la industrialización de productos de consumo (Boff, 1996). En este contexto la naturaleza está íntimamente ligada al concepto de economía. Desde la modernidad podemos presenciar una distinción sujeto-objeto que se traduce entre hombre-naturaleza. Lo humano como algo objetivado, en lo que se llamó recursos naturales bajo la égida de una racionalidad instrumental (Hernández, 2006). En la cultura de mercado el ser humano tiene la potestad para hacer de la naturaleza su dominio. El apoderarse de ella es la parte más alta de la cadena en que el valor de la mercancía está por encima de los seres vivos y, por tanto, le da las facultades para su utilización con fines de explotación. Esta forma de ver al mundo hace que el ser humano se conciba a

sí mismo como el ápice de la cadena, lo cual es falaz. Se cree y se actúa como si la vida silvestre, la biósfera y la realidad fueran de nadie, está ahí para ser aprovechada de la mejor manera posible, pero esto es una muestra de racionalidad irracional. Como explica Martínez y Schlupman (1991), muchas industrias intensivas de materias primas actúan sin importar que la explotación de los recursos naturales ponga en peligro la subsistencia de las nuevas generaciones y la viabilidad de la vida misma, ya que, suponen, este es un efecto colateral, solo probable y de largo plazo.

Por eso vale la pena advertir desde la filosofía los riesgos a la propia existencia que conlleva que el ser humano tenga un sentido inmediato de la propiedad y apropiación sobre la naturaleza. El hombre hace uso eficaz y eficiente desde su racionalidad instrumental para conseguir sus propósitos, no solo de subsistencia, sino de generación de riqueza. De este modo, queda fuera del marco teórico la idea de sustentabilidad entendida básicamente por Komiyama y Takeuchi (2006), como el: "Desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". En cuanto al control, nos referimos al control de la naturaleza para cubrir las necesidades básicas y no básicas del ser humano, pero también al control simbólico o fáctico. Existe autoridad informal en ello, una capacidad de presión y tensión en la que la naturaleza se encuentra amenazada por el hombre. Esta no es solo una postura ambientalista, sino ontológica. Sin embargo, debemos hacer el contraste entre el poder de la naturaleza- y este es un ítem de análisis- que está por encima, y por mucho, del poder de control que el ser humano tiene sobre su entorno. Hay una parvedad de miras por controlar la naturaleza, vista esta como un conjunto de elementos con cierta fuerza. La naturaleza puede ser hostil en todo momento, explica Hernández (2011); podemos ser superados y lo que el hombre hace es, precisamente, creer dominar esa naturaleza, antropologizarla falsamente, de modo tal que quede bajo su control, aunque en muchos casos salga totalmente de su ámbito. Basta ver la verdadera dimensión del hombre frente a los fenómenos climatológicos de la naturaleza: tsunamis, inundaciones, tornados y terremotos para comprobar, una y otra vez, su indefensión frente al poder intrínseco de la naturaleza. La naturaleza es, en el fondo, un problema interdisciplinario: ecológico, biológico, agroindustrial, técnico, científico y económico, pero también político, filosófico y, sobre todo, ético. Es la construcción de este mundo humano, hecho

a expensas del mundo natural el que nos enfrenta con disyuntivas morales insalvables que deben ser abordadas desde una meta-teoría de la naturaleza.

Por eso, es necesaria una reflexión filosófica y bioética permanente de los verdaderos alcances e intenciones últimas del ser humano que explota los recursos naturales. Ese es el lugar idóneo para la filosofía aplicada y debe entrar en diálogo con el resto de las disciplinas al mismo nivel que los resultados empíricos de investigación.

El valor intrínseco de la vida

No son ociosas preguntas tales como: ¿Cuál es la diferencia entre algo vivo y algo muerto? ¿Qué es eso que llamamos vida como parte inherente de la naturaleza? Todo lo real tiene poder y la condición de poder más alta es la vida misma. La vida, omnipresente en cada rincón de la realidad, no basta ser explicada desde el mecanicismo, como relaciones físico-químicas, porque no son suficientes para comprenderla desde su origen (Carroll y Baldner, 1997). Si bien la biología molecular ha estado a la punta de una definición más precisa de vida, sobre todo a partir del descubrimiento del ácido desoxirribonucleico, lo cierto es que una parte de los científicos no quieren arriesgarse siquiera a dar una definición última, y no porque se nieguen a ello, sino porque no existe una certeza. Coinciden en que hay tres propiedades que podrían ser necesarias y que juntas son suficientes para que la vida exista, pero no hay una descripción concluyente. De acuerdo a Machery (2012) como se sabe, las características son: autoreproducción, evolución y metabolismo. Según Deutsch (1997), la vida propiamente dicha es aquello que manifiesta tener actividad y códigos genéticos escritos como secuencias de los símbolos A, C, G y T que corresponden a los nombres de las moléculas componentes (adenina, citosina, guanina y tiamina) y debe tener una característica importante, esto es, la replicabilidad.

Se debe advertir además que en sentido estricto la ciencia aún no ha sido capaz de crear siquiera una célula viva. No nos referimos a replications artificiales. Los equipos de avanzada en los laboratorios de biología sintética han hecho promesas sobre la replicabilidad de una célula viva morfológica, funcional y autopoyética, explica Craig (2013) pero, hasta el momento, no han logrado la creación, propiamente dicha, de ningún tipo de vida, ahí donde existe nada. Entonces, si el hombre tiene el poder de transformar la biosfera, de enviar cohetes al espacio, de hacer represas que cambian el cauce de caudalosos afluentes o de construir bombas lo suficientemente poderosas como para borrar de la faz de la tierra a ciudades enteras... ¿por qué el hombre no ha sido capaz de darle vida a algo tan insignificante como una bacteria? La vida artificial creada a partir de sustancias no vivientes o abióticas, no puede ser considerada vida todavía.

Existe la percepción de que la vida nos pertenece, que es algo que se posee, pero, al mismo tiempo, se percibe como dada, producida más allá de la esfera de la propia voluntad. Siguiendo a Jaki (1980), no deja de resultar llamativo que algunas propuestas entre sapienciales y filosóficas que está produciendo la época moderna hagan nuevamente un rescate hacia lo sacro; no necesariamente hacia un dios del modo monoteísta, pero encuentran alguna rela-

ción intrínseca con una dimensión trascendente a la propia materia. Siguiendo a Hernánz (2011), la figura del fundamento que el hombre va construyendo en su propia realidad, por el hecho de vivir, puede ser el dios real que se construya, ya sea una visión teísta, agnóstica o atea, no consiste primariamente en la aceptación o negación conceptiva de su existencia, como un término de un razonamiento. ¿Cómo dejar de lado entonces la metafísica de la explicación de la vida sin caer tampoco en el argumento mecanicista, como unión de células (físico-química) que la definen? ¿Un estado o carácter especial de la materia alcanzado por estructuras moleculares específicas, "con capacidad para desarrollarse, mantenerse en un ambiente, reconocer y responder a estímulos y reproducirse permitiendo la continuidad"? (Deutsch, 1997 y Craig, 2013). Esa es una definición descriptiva de los organismos vivos, pero no abona una explicación última de la génesis de la vida.

Reflexión

Un problema de tipo político, ético y moral de los últimos dos siglos es la construcción del mundo humano hecho a expensas del mundo natural y de vida (Komiyama y Takeuchi, 2006). El planeta no solo es explotado, sino que para ser más racionales, existe un imperativo de que el hombre debe separarse cada vez más de la naturaleza; la polis, y no en el sentido griego, sino en el de urbe, técnicamente es el lugar donde nos hacemos seres humanos y debe estar el mundo humano lo más separado del mundo natural. Los nativos son personas, aunque a veces ni siquiera son vistos con ese carácter, que deben ser incorporados a la civilización. El rompimiento de la dicotomía sujeto-objeto es vi-

sible cuando el hombre ha quedado disuelto en una dimensión que puede existir sin la presencia de la naturaleza. El mundo anthropo-ónico es una visión cómoda porque se dispone al hombre como centro del universo. Un fin, el mundo, para sí, el hombre. La unidad de lo real, la dicotomía entre lo extraordinariamente diverso de la realidad y la unidad que detrás de ella puede descubrirse da la pauta para argumentar en favor de un sentido ontológico de la naturaleza como totalidad de la realidad, más allá de la presencia del hombre.

Existe una serie de estructuras en el nivel microscópico y en el cósmico que, desde lo más elemental hasta las formas más complejas, encierran una ingeniería que el ser humano puede solo parcialmente observar y, menos aún, comprender desde su racionalidad. Una complejidad en la realidad y en los elementos que la conforman que no es posible abarcar en su totalidad, al menos a través de una racionalidad teórica o instrumental. Un solo ejemplo de estos límites: La idea de "expansión acelerada del universo". Primero: ¿puede ser conmensurable?, y segundo, si crece: ¿dentro de qué? ¿Requiere el universo estar contenido en la nada? ¿Qué es la nada?

Si bien la intelección de lo concreto es mediada a través de instrumentos de observación y de medición de fenómenos que se acercan a los elementos constitutivos de estos fenómenos, en realidad, cuántos de estos fenómenos no logran ser aprehendidos en su totalidad por la racionalidad. Cuanto más se descubren los secretos que guardan los fenómenos naturales y la materia en su conjunto aparecen más puntos de divergencia. Desde la célula

hasta los planetas distantes, se descubre que todo está conformado por una misma naturaleza, los mismos elementos que están bajo los efectos de los mismos códigos, sin embargo, muchos de ellos continúan sin ser descubiertos. Se cumplen patrones, una y otra vez, que demuestran la existencia de una red de relaciones que se expresan en la materia, en la fuerza y en el tiempo. No se percibe la realidad como una fatalidad; se trata de una comprensión que, de algún modo, permite captar aquello que está detrás de la realidad o en ella y sacar conclusiones e inducciones válidas, pero todo ello de manera intuitiva por el conocido problema de la inducción. No se trata únicamente de una impresión sensorial que puede ser engañosa o que dependa del sujeto que la perciba. Cada ojo tiene una visión diferente, cierto, pero no significa que el mundo sea diferente para cada persona que lo observe. Hay una realidad que le es inconmensurable y que no puede ser cambiada de acuerdo con el sujeto que la perciba. No se afirma con esto un realismo inocente. El ser humano es el único ser capaz de captar esa realidad peculiar de manera inteligente, abstraer, sintetizar, analizar y sacar conclusiones de esas impresiones, aun cuando no pueda abarcar, ni siquiera intuir, su totalidad, como el concepto de "universo en expansión". La naturaleza guarda una interioridad fáctica que descubrimos a través de los fenómenos y la inteligencia. Es ahí donde gravita la dimensión epistemológica del ser y del conocer. Ese es el sentido ontológico del problema de la naturaleza y de su ser. No es el problema del ser sino del conocimiento, un estar ahí, digámoslo así, conscientes. El valor intrínseco de la vida y del sujeto que la posee debe ser entendido como parte sustancial a su constitución. La propuesta aquí es romper con la duplicidad entre materia y vida; una oposición que divide a la naturaleza entre lo animado y lo inanimado cuando todo cuanto existe en el universo tiene, de alguna forma, una característica dada desde fuera que contempla la diferencia ontológica entre el ser y el no-ser: esa es la idea original de creación.

La vida, especialmente la humana, tiene por lo menos tres dimensiones: una individual, compuesto físico-psíquico que consiste en la pertinencia de la existencia y en la subsistencia del cuerpo, manteniéndolo sano. Una segunda dimensión que tiene que ver con lo antropológico y lo social en las relaciones que el hombre genera en relación con los demás, en relación con el mundo físico que lo rodea y en donde se enmarca la parte moral de su relación con la naturaleza y, finalmente, una dimensión más allá de lo físico como ente trascendental. Si encontramos el valor real de la vida, ese valor, como se dijo antes, estaría presumiblemente dado desde fuera, por lo que la vida adquiere una dimensión que, de suyo, tiene un valor intrínseco como única posibilidad de trascender entre lo real inmediato y lo trascendental. La naturaleza tiene un sentido antropológico, pero la naturaleza no son precisamente los árboles, los ríos, los animales, tampoco es una construcción teórica, sino una construcción pragmática de lo que el hombre concibe a su alrededor. La naturaleza también es una proyección moral del hombre. Nuestra idea de la naturaleza es el espejo donde nos miramos y aquello frente a lo que nos contraponemos sin darnos a veces cuenta de que estamos inmersos y que dependemos literalmente de ella. En su propio carácter constitutivo, la naturaleza tiene una esencia cerrada, no así para el hombre que, en medio de la posibilidad de

investigación, requiere caminar por una ruta colectiva de sentido.

Se plantea nuevamente las preguntas: ¿Cuál es el lugar del hombre en el cosmos? y ¿Qué papel tiene la naturaleza humana en la realidad? Hay una preocupación cultural, psicológica y filosófica, incluso existencial, sobre el sentido de la vida y del ser humano en este planeta.

Entonces ¿qué somos en la realidad frente a lo natural? Tenemos la esfera de la realidad y la naturaleza, estamos en ella, la percibimos, la tocamos, pero dentro de ella existen interrogantes indisolubles ante las que, con toda humildad, debemos por lo menos sentir y actuar con respeto. Del modo en que se defina e interprete el concepto de naturaleza será la calidad de políticas públicas que adopte cada país. Hasta que se logre desechar la visión antropocéntrica y se renuncie a seguir actuando como el ápice del universo, la lógica instrumental de los recursos naturales y su explotación continuará impactando de manera negativa la sustentabilidad del planeta. Citando a Weisman (2007), los plásticos, especialmente los de tereftalato de polietileno, las pilas y las botellas de vidrio, podrían ser nuestro legado más duradero. El hecho de que el hombre no termine por comprender el universo físico y, especialmente, el fenómeno de la vida, debe ser un imperativo para sentir rendición por lo incognoscible y no como hasta ahora, rendimiento económico; aun cuando suene a un lugar común, si no se es capaz de crear la vida, tampoco se tiene el derecho a arrebatarla o a cancelar el derecho para las futuras generaciones a un planeta habitable.

CONCLUSIÓN

La naturaleza, por tanto, independientemente de si se trata de un concepto ontológico (del ser ahí) o epistemológico (pensamiento abstracto) es, hasta ahora, el único lugar posible en donde el hombre puede subsistir, existir, desarrollarse y progresar. Consideramos que las soluciones deben ser radicales y no se necesita llegar a depender del fantasma de nuestra desaparición como especie para tomar decisiones definitivas y de largo plazo.

LITERATURA CITADA

- Aristóteles. Clásico. 2007. *Metafísica*. Gredos. Madrid.
- Artigas M. 1995. *La inteligibilidad de la naturaleza*. Eunsa. Pamplona.
- Boff L. 1996. *La ecología como nuevo espacio de lo sagrado*. Trotta. Madrid. 95 p.
- Carroll W., Baldner S. 1997. *Aquinas on Creation*. Pontifical Institute for Mediaeval Studies. Toronto.
- Craig J. 2013. *La vida a la velocidad de la luz*. Crítica. Madrid. 11-26 pp.
- Deutsch D. 1997. *The Fabric of Reality. The Science of Parallel Universes and Its Implications*. Penguin. New York.
- Hernández J. 2006. *La relación hombre/naturaleza como entorno construido*. En: *La ciencia y el hombre* 19:3. Universidad Veracruzana. México.
- Hernández J. 2011. *Una propuesta iberoamericana para la superación de la filosofía moderna: Zubiri y la metafísica de la nuda realidad*. En: *Revista Estudios Latinoamericanos*: 11. Universidad de Nariño. Colombia.
- Jaki S. 1980. *Cosmos and Creator*. Regnery Gateway. Chicago. 22 p.
- Komiyama H., Takeuchi K. 2006. *Sustainability science: building a new discipline*. En: *Sustainability Science* 3.
- Machery E. 2012. *Why I stopped worrying about the definition of life and why you should as well*. En: *Synthese* 185, 1. 145-164 pp.
- Maritain J. 1947. *Filosofía de la naturaleza*. Club de lectores. Buenos Aires.
- Martínez J., Schlupman K. 1991. *La ecología y la economía*. FCE. México.
- Weisman A. 2007. *The World Without Us*. Thomas Dunne Books. New York. 86 p.
- Zhuang Zi. 1992. *Maestro Chuang Tsé*. Kairós. Barcelona. 27 p.



DIAGNÓSTICO DEL CRECIMIENTO URBANO PARA LA PLANIFICACIÓN AMBIENTAL DE VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

DIAGNOSIS OF URBAN GROWTH FOR ENVIRONMENTAL PLANNING IN VILLAHERMOSA, TABASCO, MÉXICO

Palomeque-De la Cruz, M.A.¹; Galindo-Alcántara, A.^{1*}; Sánchez-Sánchez, A.J.¹; Ruiz-Acosta, S.C.²; Escalona-Maurice, M.J.³

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ciencias Biológicas. Km 0.5 Carretera Villahermosa-Cárdenas entronque a Bosques de Saloya. Villahermosa Tabasco. CP. 86150. ²Instituto Tecnológico de la Zona Olmeca. Prolongación Ignacio Zaragoza s/n. C. P. 86720. Villa Ocuilzapotlán, Centro, Tabasco. México. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, km 36.5. Carretera México-Texcoco, Texcoco Edo de México 56230.

*Autor de correspondencia: aga2003a@hotmail.com

RESUMEN

El crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México, desde el siglo XIX, XX e inicios del XXI, ha dado prioridad a la periurbanización y establecimiento de la infraestructura petrolera que altera el suelo y la red hidráulica superficial, omitiendo la conservación de los ecosistemas. Las estimaciones y proyecciones muestran que si continúa el cambio de uso del suelo en las dos próximas décadas, se perderán los últimos ecosistemas conservados, aumentando la vulnerabilidad ante desastres naturales, tales como las inundaciones. Se realizó un diagnóstico analizando información histórica, social y económica; cartográfica y estadística; así como ambiental y geográfica, lo cual aportó información útil para actualizar la planificación ambiental que facilite una expansión urbana sostenible y conservación de los últimos espacios naturales.

Palabras clave: cartografía, historia y comunidad, ecosistemas tropicales, crecimiento urbano.

ABSTRACT

Urban growth of the city of Villahermosa, Tabasco, México, since the 19th, 20th and beginning of the 21st centuries has given priority to peri-urbanization and to the establishment of oil infrastructure that alters the soil and the superficial drainage, leaving out ecosystem conservation. The estimations and projections show that if the change in land use continues in the next two decades, the last conserved ecosystems will be lost, increasing the vulnerability in face of natural disasters like flooding. A diagnosis was made by analyzing historical, social and economic information; cartographic and statistical; as well as environmental and geographic, which contributed useful information to update environmental planning that facilitates a sustainable urban expansion and conservation of the last natural spaces.

Keywords: cartography, history and community, tropical ecosystems, urban growth.

INTRODUCCIÓN

En México, el crecimiento urbano sin planificación ha provocado la transformación en toda la superficie terrestre y acuática (Sánchez-Colon *et al.*, 2008). Durante el periodo de 1976-2007 se deforestaron 534,707 ha de bosques (Rosete-Vergés *et al.*, 2014). De la misma forma, los humedales están enfrentando deterioro ambiental, por la sobreexplotación y contaminación, urbanización y ampliación de zonas agropecuarias (Brena *et al.*, 2016).

En México, la generación de conocimientos sobre planificación ambiental se encuentra en lento avance y resulta insuficiente para atender los problemas urbanos observados en la ciudad moderna (Gutiérrez, 2009). La ciudad de Villahermosa, Tabasco, México, ha tenido un crecimiento acelerado de la población desde mediados del siglo XX, y se unió al desmedido crecimiento urbano y modificó la fisiografía de la zona, ya que al invadir terrenos, desecaron lagunas, rellenaron pantanos, modificaron el curso de los

ríos, devastaron lomeríos con vegetación y deforestaron selvas (Oropeza-Orozco, 2004; Sánchez *et al.*, 2015). El deterioro ambiental de Villahermosa debe ser mitigado mediante la planificación ambiental y deberá tener seguimiento en las futuras estrategias ambientales, para mantener una expansión urbana sostenible que permita la conservación de los últimos espacios naturales. Lo anterior es debido a que existe carencia de datos sobre el estado actual de la cobertura de la vegetación natural y de los humedales, a pesar de ser información relevante para sustentar escenarios del cambio de uso del suelo que permitan la planificación ambiental para restablecer servicios y beneficios ambientales (Palomeque-De la Cruz *et al.*, 2017). En el presente artículo se muestra un diagnóstico del cambio de uso de suelo, que inicia con una descripción de las principales transformaciones históricas que influyeron en el deterioro de los ecosistemas de Villahermosa desde su fundación en el siglo

XIV, el largo periodo del siglo XX y las últimas tendencias de crecimiento del siglo XXI. También se describe el cambio de uso del suelo de 1984 a 2008. Por último, se proyectó un escenario espacial 2030. Este diagnóstico permitirá sustentar la propuesta de nuevas alternativas de planificación ambiental.

MATERIALES Y METODOS

El estudio se realizó en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México (92° 55' O y 17° 59' N) (Figura 1), con una

superficie de 20,655 ha y se ubica en la planicie costera de la cuenca del río Grijalva. Está bordeada por los ríos Mezcala Viejo y de la Sierra por el este y el río Carrizal por el norte. Tiene una altura promedio de 10 m y un relieve mínimo dominado por zonas bajas inundables y algunos lomeríos en la zona este (CONAGUA, 2012).

Revisión de información histórica-ambiental

La revisión bibliográfica y documental se sustentó en un análisis de información histórica, social, económica, cartográfica

y estadística; así como ambiental y geográfica. Se describe el crecimiento urbano de Villahermosa, desde su fundación en el siglo XIV, el largo periodo del siglo XX, las últimas tendencias de crecimiento del siglo XXI y las transformaciones ambientales ocasionadas. Una fotografía aérea del año 1984 (Escala 1:75,000) y una ortofoto del año 2008 (Escala 1:10,000) (Figura 2) fueron utilizadas para clasificar siete clases de uso del suelo mediante digitalización de polígonos en pantalla y su posterior rasterización: 1) vegetación arbórea, (2) humedales, (3) pastizal, (4) terrenos baldíos, (5) industriales, (6) carreteros y (7) urbanos.

Análisis de cambios de uso del suelo (1984-2008)

El análisis espacio-temporal (1984-2008) se realizó con el Modelador de Cambios en el Terreno (MCT) de IDRI-SI Selva® (Figura 2), el cual se desarrolló mediante una matriz de tabulación cruzada, que permitió ubicar con

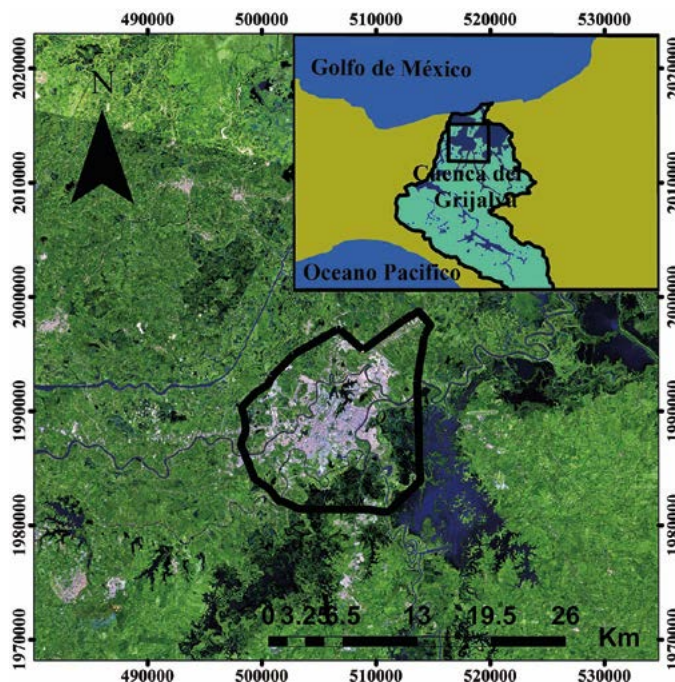


Figura 1. Ciudad de Villahermosa, Tabasco y la Cuenca del Grijalva. Elaboración propia.

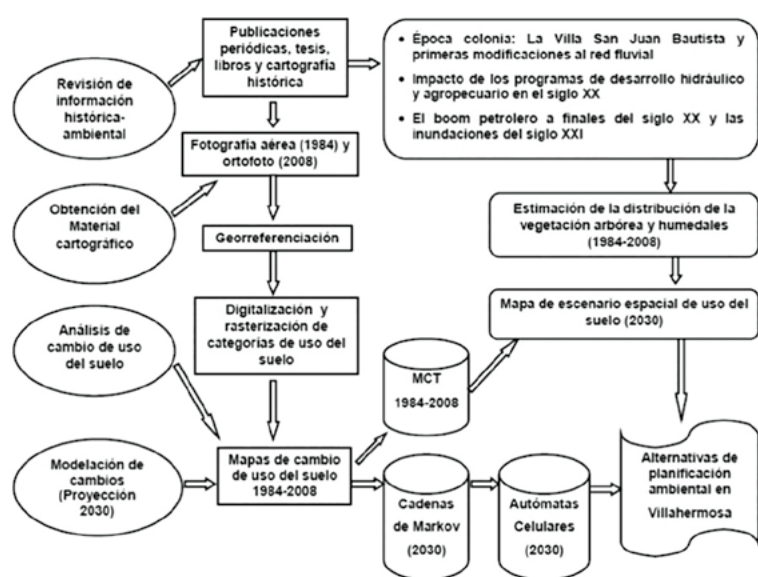


Figura 2. Proceso metodológico.

precisión la cantidad de cambio, las permanencia y transformaciones (ganancias, pérdidas, cambio neto y transiciones) de las coberturas entre dos fechas.

Modelación de cambios (Proyección 2030)

Con el módulo Markov de IDRISI Selva® se creó una matriz de probabilidad de transición (2030). El método consistió en cruzar los mapas de 1984 y 2008, para crear una matriz de probabilidad de cambio en un tercer período (2030). Se generó una matriz de probabilidades de cambios, otra de áreas de cambio que contiene el número de píxeles esperados a modificarse de una clase de uso a otra durante un período de tiempo y una colección de imágenes de áreas de adecuación/aptitud. Posteriormente con el módulo CA-Markov de IDRISI Selva® se construyó un escenario espacial (2030) a partir de la combinación de un mapa de uso de suelo base (2008), la matriz de áreas de cambio y la colección de imágenes de áreas de adecuación/aptitud (2030) construidas en Markov (Figura 2). Para más información sobre estos métodos, se puede consultar <https://clarklabs.org/wp-content/uploads/2016/10/IDRISI-Selva-Spanish-Manual.pdf>

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento histórico y consecuencias ambientales

La ciudad de Villahermosa inició con un lento crecimiento poblacional y urbano en la llamada “Villa San Juan Bautista” desde el siglo XVII hasta mediados del XX (Cuadro 1). Su población fue de 5,660 habitantes en 1676 (Moreno-Amador, 2014). La ganadería de bovinos, la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) y

la explotación del palo de tinte, (*Haematoxylum campechianum*), fueron las actividades económicas más sobresalientes y fueron las primeras actividades en generar notables cambios del uso de suelo (Ruiz-Abreu, 2002). Sin embargo, las continuas inundaciones en la antigua Villahermosa propiciaron las primeras modificaciones a la red fluvial superficial de la cuenca del río Grijalva, ya que durante el siglo XIX y XX se construyeron cinco rompimientos que afectaron los ríos Mezcalapa-Mezcalapa Viejo y Samaria-Carrizal-Grijalva (Chávez-Jiménez, 2007; Salazar-Ledesma, 2002).

En el siglo XX, Villahermosa aumentó de 632 ha en 1946 a 2,182 en 1983 ha, debido a la inmigración asociada con el Plan Chontalpa y el Boom Petrolero. En los años setentas del siglo XX, y en

esta misma década se construyó un sistema de cuatro presas, carreteras, ferrocarriles que junto con el impulso ganadero propiciaron la pérdida de 21.7% al 1.6% de la selva Tabasqueña y la segunda transformación de la red fluvial superficial de la cuenca del río Grijalva (Zavala-Cruz y Castillo, 2007; Sánchez *et al.*, 2015). En las décadas de los setentas y ochentas, se invirtió en infraestructura urbana y a finales de los ochentas inició la periurbanización (Díaz-Perera, 2015). Independientemente del periodo, el crecimiento urbano se basó en la invasión de humedales y selva tropical (Salazar-Ledesma, 2002).

Desde su inicio en los años setentas, el auge petrolero generó deterioro ambiental y aceleró el crecimiento demográfico. El crecimiento urbano más notable (% de incremento) a finales del siglo XX continuó con la práctica de rellenar e invadir lagunas y sus zonas de inundación temporal (Sánchez-Munguía, 2005). De la misma forma, el auge petrolero generó deterioro ambiental en las áreas de su incorporación, como aquellas en donde la concentración industrial y el acelerado crecimiento demográfico provocaron excesivas presiones sobre los ecosistemas de la cuenca baja del río Grijalva. La construcción de carreteras y drenes de paso a través de las zonas de anegación de los humedales para acceder a los pozos petroleros, modificaron los patrones de circulación natural del agua, ciclos biogeoquímicos y la biodiversidad de la fauna acuática (Capdepont-Ballina y Marín-Olán, 2014; Sánchez *et al.*, 2015).

A la pérdida de humedales se sumaron: 1) las obras de infraestructura hidráulica para la protección de la ciudad

Cuadro 1. Resumen del análisis histórico-ambiental.	
Época	Principales resultados
Época colonial: La Villa San Juan Bautista y primeras modificaciones a la red fluvial.	- El crecimiento de Villahermosa se remonta al siglo XIX, con el establecimiento de La Villa San Juan Bautista. - La ganadería, producción de cacao y explotación del palo de tinte, (<i>Haematoxylum campechianum</i>) generaron cambio del uso de suelo. - Las continuas inundaciones propiciaron las modificaciones a la red fluvial superficial de los ríos Mezcalapa-Mezcalapa Viejo-Samaria-Carrizal-Grijalva con "rompidos" o diques.
Impacto de los programas de desarrollo hidráulico y agropecuario en el siglo XX.	- Los programas de desarrollo económico generaron profundos cambios sociales y productivos en Tabasco. - Plantaciones (plátano y cacao), finales del siglo XIX hasta los 40's (1965-1976). - Programas de desarrollo agropecuarios (Plan Chontalpa y Proderith), (1965-1976). - Auge Petrolero, setentas y ochentas - Entre los 50's y 60's, la expansión de los centros urbanos, promovió la deforestación de 85,450 ha de selvas. - Obras dentro de la ciudad para rellenar los humedales conectados al río Grijalva, y zonas de anegación (La Pólvara, Mayito, El Negro y el Jícaro) 1951 Comisión del Grijalva: Las inundaciones justificó la construcción de cuatro presas. - Se interrumpió la descarga del río Mezcalapa al Golfo de México. - Con el Plan de la Chontalpa fueron taladas cerca de 50,000 ha de bosque tropical. - Modificó tanto las áreas como los tiempos de anegación temporal. - Algunas de las zonas habitacionales fueron construidas en zonas de riesgo por inundaciones.
El boom petrolero a finales del siglo XX y las inundaciones del siglo XXI.	- Generó deterioro ambiental en las áreas de incorporación de la actividad. - La construcción de carreteras y drenes a través de los humedales, modificaron los patrones de circulación natural del agua, ciclos biogeoquímicos y la biodiversidad. - A partir de 1974, la ciudad empezó a sobrepasar el límite del río Carrizal y en 1984 inició la conurbanización. - En los 80's, la saturación urbana en Villahermosa propició la consolidación de la periurbanización en los 90's, con la ampliación de carreteras y el cambio de uso del suelo. - Elevadas tasas de cambio en la Vegetación arbórea (Mayores a lo registrado a nivel nacional). - El crecimiento urbano insostenible, fomentó la ocupación de sitios con alto riesgo de inundaciones. - Problemas de marginación y la vulnerabilidad a las inundaciones.

ante inundaciones, ya que formaron parte de la expansión urbana, 2) la construcción de carreteras y drenes de paso a través de las zonas de anegación de los humedales para acceder a los pozos petroleros, y 3) la metropolización con los planes de desarrollo de viviendas orientadas hacia corredores. Se modificaron los patrones de circulación y volumen del agua, ciclos de inundación, interconexión entre los componentes de los humedales (río, canales, lagunas, áreas de anegación), ciclos biogeoquímicos y la biodiversidad de la fauna acuática (Capdemon-Ballina y Marin-Olan, 2014; Sánchez *et al.*, 2015). Además, las obras relacionadas con la actividad petrolera han modificado el curso y cauce de algunos ríos superficiales, como al occidente del río Pichucalco, y en su unión con el río de la Sierra a la altura de la población la Majahua, para desembocar juntos al río Grijalva (Capdemon-Ballina y Marin-Olan, 2014). En el siglo XX, Villahermosa aumentó de 632 ha en 1946 a 2,182 en 1983 ha, debido a la inmigración asociada con el Plan Chontalpa y el Boom Petrolero. En la primera década del siglo XXI, el cambio de uso del suelo en los ecosistemas urbanos ha contribuido a la vulnerabilidad frente

al cambio climático, sobre todo a la población en asentamientos construidos en áreas de inundación como en zonas irregulares. En las inundaciones del 2007 (Figura 3) el 75% de la población fue damnificada perjudicando 123 mil viviendas a nivel estatal, y 570 mil hectáreas agrícolas que causaron pérdidas equivalentes al 33.3% del PIB estatal (CEPAL, 2011).

Cambio de uso del suelo

El modelador de cambios en el terreno, detectó que durante 1984 y 2008, se perdieron significativas extensiones de vegetación arbórea y humedales (Cuadro 2). En contraste, el área de pastizal aumentó notoriamente en la zona, aunque perdió cerca del 2.13% debido a sus transiciones para la periurbanización y construcción de carreteras e infraestructura para las actividades petroleras. También, el uso urbano registró elevado crecimiento de 3.41% (Cuadro 2). En general, la vegetación arbórea y los humedales perdieron 4,008 y 289 ha respectivamente. En cambio, el pastizal y la zona urbana aumentaron 2,047 y 2,276 ha respectivamente (Cuadro 2), resultando los mayores impactos de las últimas tres décadas.



Figura 3. Inundaciones en Villahermosa 2007 (Galindo *et al.*, 2009)

Cuadro 2. Cambio de uso del suelo 1984-2008 (ha) en Villahermosa, Tabasco, México.

Categoría	1984	2008	Ganancias	%	Pérdidas	%
Vegetación arbórea	5,901	1,893	136	0.20	4,144	6.20
Humedales	2,533	2,244	33	0.05	322	0.48
Pastizal	9,192	11,239	3,473	5.20	1,426	2.13
Urbano	2,182	4,458	2,278	3.41	0	0

Los usos de suelo que contribuyeron principalmente con la pérdida de vegetación arbórea fueron el pastizal con 3,103 ha, seguido por el urbano con 872 ha (Cuadro 3). El pastizal creció desplazando vegetación arbórea y humedales. Sin embargo, el pastizal también presentó pérdidas de 1,169 ha para su transformación a zonas urbanas y 133 ha para transformarse a uso industrial. El uso urbano desplazó áreas de pastizal, seguido por vegetación arbórea y terrenos baldíos (Cuadro 3).

Proyecciones de cambio de uso del suelo

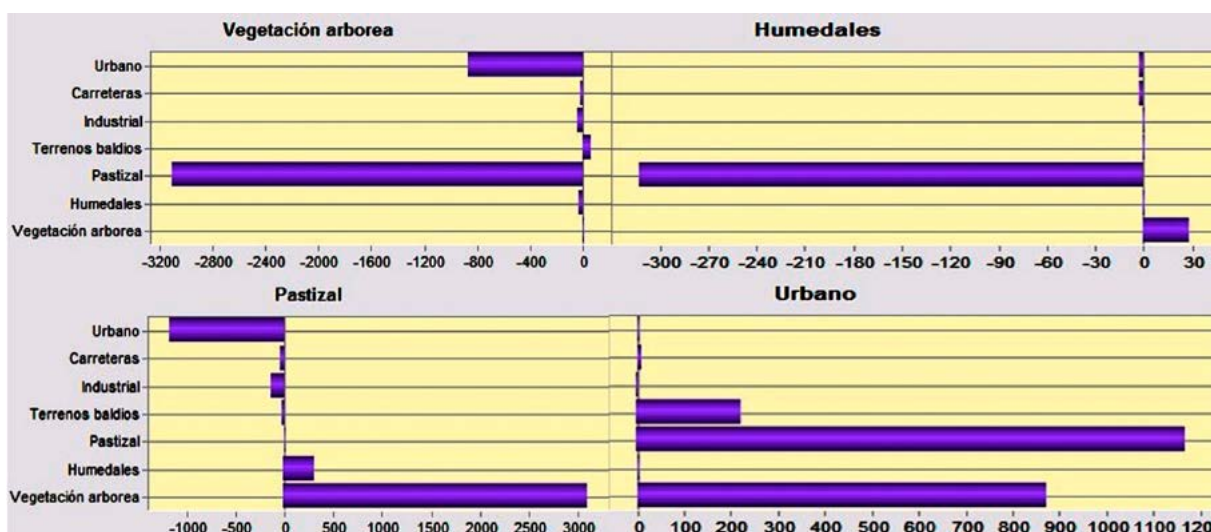
La matriz de probabilidad de cambios de uso del suelo 2030 indicó que la vegetación arbórea mantendrá altas probabilidades (0.52 y 0.14%) de ser remplazada por pastizal y uso urbano (Cuadro 4), mientras que las coberturas de humedales presentaran probabilidades de 0.12% de convertirse a superficies de pastizal.

El mapa de uso del suelo 2008 (Figura 4) y la proyección 2030 ejecutada con los Autómatas Celulares (Cuadro 5) generó un escenario, en donde aumentó la dinámica del paisaje. La vegetación arbórea y los humedales ocuparán 4,137 ha de la superficie total; mientras que, el pastizal y el uso urbano 15,697 ha. El análisis señaló que la vegetación arbórea perderá 1,917 ha, los humedales 451 ha, y el pastizal 225 ha. En contraste, el uso urbano aumentará 2,480 ha.

El deterioro ambiental de Villahermosa, ha sido diagnosticado mediante el análisis histórico-ambiental y la ejecución de

los modelos de cambio de uso del suelo que detectaron el avanzado deterioro de los ecosistemas por la pérdida 4,008 ha de vegetación arbórea y 289 ha de humedales durante el periodo 1984-2008, y la proyección de más pérdidas de coberturas naturales y aumento del uso urbano en el 2030. Aunado al deterioro ambiental, se ha fomentado la ocupación de sitios irregulares en zonas bajas cercanos a ríos y pantanos con riesgo de inundaciones (Galindo-Alcántara *et al.*,

Cuadro 3. Contribuciones entre las categorías (1984-2008).



Cuadro 4. Probabilidades del cambio de uso del suelo en el 2030, para en Villahermosa, Tabasco, México..

2030	Categoría	Vegetación arbórea	Humedales	Pastizal	Urbano
	Vegetación arbórea	0.32	0.00	0.52	0.14
	Humedales	0.00	0.88	0.11	0.00
	Pastizal	0.00	0.00	0.85	0.12
	Urbano	0.00	0.00	0.00	0.99

2009). El cambio de uso del suelo está contribuyendo a la vulnerabilidad frente al cambio climático e impacta a la población de escasos recursos económicos en asentamientos irregulares (Peña-Cortés *et al.*, 2015). La tendencia de crecimiento urbano más notable es la invasión de terrenos bajos e inundables y no aptos para el decreto de categorización como área natural protegida que las proteja, a pesar de existir la Ley General de Equilibrio Ecológico, La ley de Protección Ambiental de Tabasco y el Programa de Ordenamiento Ecológico de Tabasco. Las grandes inundaciones del 2007 y 2008 están relacionadas con: a) la deforestación de selva tropical en la cuenca del Grijalva-Usumacinta que ocasionó erosión hídrica y azolve de los ríos, c) obras de ingeniería con nula intervención en la conservación de la vegetación, d) y desinterés de los gobiernos en regular los asentamientos irregulares (Álvarez y Tuñón, 2015).

ninguna medida de contención será suficiente para el control de desastres, pues esta zona es de amortiguamiento de humedales y escurrimientos. Es primordial promover un marco normativo ambiental-urbano integral y de jurisdicción federal, estatal y municipal (para evitar contradicciones entre intereses particulares), que regule la proliferación anárquica de obras de infraestructura inmobiliaria y e industrial como la exploración petrolera, y que dé prioridad a la restricción del crecimiento urbano en zonas que aún tienen característica de reserva natural, y en los márgenes de los ríos de la Sierra, viejo Mezcalapa, Carrizal y Grijalva (Díaz-Perera, 2012; Pérez-Sánchez, 2007). El deterioro ambiental y la prevención ante la vulnerabilidad, también debe ser contrarrestada desde una perspectiva social dada las relaciones de interdependencia que se producen entre sociedad y medio ambiente como partes integrantes

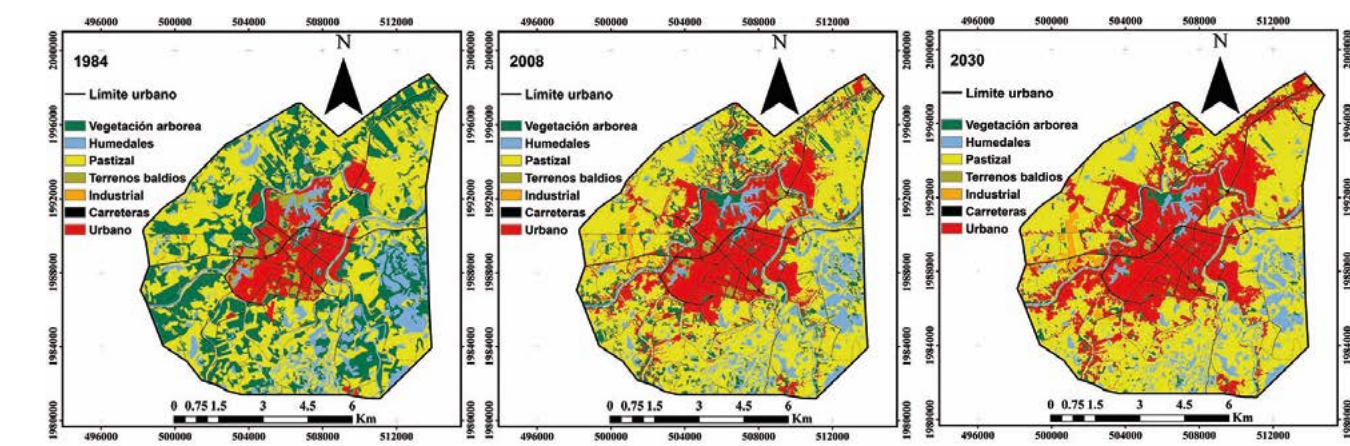


Figura 4. Usos del suelo 1984, 2008 y escenario espacial 2030.

Cuadro 5. Escenario del cambio de uso del suelo en el 2030 en Villahermosa, Tabasco, México.

Categoría	2008	%	2030	%	2008-2030
Vegetación arbórea	1,893	9.2	722	3.5	1,171
Humedales	2,244	10.9	1,997	9.7	247
Pastizal	11,239	54.4	10,922	52.9	317
Urbano	4,458	21.6	6,137	29.7	-1,679

del mismo ecosistema global. Díaz-Perera (2012) sugirió que es necesario promover talleres y programas educativos para la prevención de desastres en colonias con estrecha relación a las reservas naturales aledañas. Jiménez-Moreno *et al.*, (2011) mencionaron que es imprescindible la modelación del cambio de uso del suelo para que las autoridades y planificadores del suelo puedan comprender el alcance de los cambios registrados y los riesgos que ello implica. Además, los cambios registrados permiten identificar los factores que los están causando y, por lo mismo, son útiles para dar seguimiento al ordenamiento territorial. En términos generales, el deterioro ambiental en Villahermosa, debe ser mitigado mediante la planificación ambiental vigente y deberá tener seguimiento en las futuras estrategias ambientales, para mantener una expansión urbana sostenible que permita la conservación de los últimos espacios naturales.

CONCLUSIONES

Durante tres etapas históricas, el crecimiento urbano de Villahermosa, Tabasco, ha dado prioridad al desarrollo de la periurbanización y la infraestructura petrolera que alteró el suelo y la red hidráulica superficial, omitiendo la conservación de los ecosistemas naturales. Las estimaciones y proyecciones muestran que si continúa el cambio de uso del suelo en las próximas décadas, se perderán los últimos ecosistemas conservados. La pérdida de ecosistemas aumentará la vulnerabilidad ante desastres naturales como las inundaciones que afectan el tejido social y económico. El deterioro ambiental en Villahermosa, debe ser mitigado mediante la planificación ambiental vigente y deberá tener seguimiento en las futuras estrategias ambientales, para mantener una expansión urbana sostenible que permita la conservación de los últimos espacios naturales.

LITERATURA CITADA

- Álvarez-Gordillo G.D.C., Tuñón Pablos E. 2016. Social vulnerability of the population environmentally displaced due to the floods in Tabasco, México, 2007. Cuadernos de Geografía-Revista Colombiana de Geografía, 25(1), 123-138.
- Brena J., Castillo C., Wagner A. 2016. Metodología para la delimitación y caracterización de humedales en escalas 1:50 000 y 1:20 000. Tecnología y Ciencias del Agua, 7(2), 85-98.
- Capdepon-Ballina J.L., Marín-Olán P. 2014. La economía de Tabasco y su impacto en el crecimiento urbano de la ciudad de Villahermosa (1960-2010). LiminaR, 12(1), 144-160.
- CONAGUA. (2012). Retrieved from <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/contenido/Documentos/LIBROS%20BLANCOS/CONAGUA-01%20>
- Comisión Económica para América Latina (CEPAL). 2009. Tabasco: Características e Impacto Socioeconómico de las Inundaciones Provocadas a Finales de Octubre y a Comienzos de Noviembre de 2007 por el Frente Frio Número 4. Villahermosa: CEPAL. Gobierno del Estado
- Chávez-Jiménez U. 2007. Potonchán y Santa María de la Victoria. Una propuesta geomorfológico/arqueológica a un problema histórico. Estudios de Cultura. Instituto Nacional de Geografía (INEGI). 2016. Cartografía urbana.
- Díaz-Perera M.A. 2014. La construcción histórica de las condiciones de posibilidad de un desastre: el caso de dos colonias de Villahermosa, Tabasco. En M. González-Espinosa, & M. C. Brunel-Manse (Eds.), Montañas, pueblos y agua: dimensiones y realidades de la cuenca Grijalva (pp. 1-25). Ciudad de México: Editorial Juan Pablos.
- Galindo-Alcántara A., Ruiz-Acosta S., Morales A., Gómez C., Salcedo M.A., Aguilar M., Valencia J., Rodríguez M. 2009. Atlas de Riesgos del Municipio de Centro, Tabasco. Villahermosa: Ayuntamiento Municipal de Centro, Secretaría de Desarrollo Social.
- Gutiérrez C.J.J. 2015. Planeación urbana en México: un análisis crítico sobre su proceso de evolución. Urbano, 12(19), 47-63.
- Hettiarachchi M., Morrison T.H., Wickramasinghe D., Mapa R., De Alwis A., McAlpine C.A. 2014. The eco-social transformation of urban wetlands: A case study of Colombo, Sri Lanka. Landscape and Urban Planning, 132, 55-68.
- Jiménez-Moreno M.J., González-Guillen M.D.J., Escalona-Maurice M., Valdez-Lazalde J. R., Aguirre-Salado C.A. 2011. Comparación de métodos espaciales para detectar cambios en el uso del suelo urbano. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente, 17(3), 389-406.
- Oropeza O.O. 2004. Evaluación de la vulnerabilidad a la desertificación. Martínez, J., A. Fernández Bremauntz y P. Osnaya (comps.), Cambio climático: una visión desde México, SEMARNAT-INE, 303-314.
- Palomeque-de la Cruz M. A., Galindo-Alcántara A., Escalona-Maurice M.J., Ruiz-Acosta S. C., Sánchez-Martínez A.J., Pérez-Sánchez E. 2017. Analysis of land use change in an urban ecosystem in the drainage area of the Grijalva river, México. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 23(1), 105-120.
- Peña-Cortés F., Escalona-Ulloa M., Pincheira-Ulbrich J., Rebollo G. 2011. Cambio de uso del suelo en los geosistemas de la cuenca costera del río Boroa (Chile) entre 1994 y 2004. Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo, 43(2), 1-20.
- Pérez-Sánchez L.M. 2007. El desafío de la planificación de Villahermosa. En B. B. Luca, & D. Sánchez (Eds.), Planificación territorial y desarrollo sostenible en México: perspectiva comparada (pp. 59-71). Madrid: Universitat de Barcelona Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Rosete-Vergés F.A., Pérez-Damián J.L., Villalobos-Delgado M., Navarro-Salas E.N., Salinas-Chávez E., Remond-Noa R. 2014. El avance de la deforestación en México 1976-2007. Madera y bosques, 20(1), 21-35.
- Ruiz-Abreu C.E. 2002. Rutas, impuestos y productos comerciales de Tabasco en el siglo XVIII. Boletín Oficial del INAH Antropología, (66), 41-52.
- Sánchez A.J., Salcedo M.A., Florido R., Mendoza J.D., Ruiz-Carrera V., Álvarez-Pliego N. 2015. Ciclos de inundación y conservación

- de servicios ambientales en la cuenca baja de los ríos Grijalva-Usumacinta. *ContactoS* 97: 5-14.
- Sánchez-Colón S., Flores-Martínez A., Cruz-Leyva I.A., Velázquez A. 2009. Estado y transformación de los ecosistemas terrestres por causas humanas. *Capital natural de México*, 2, 75-129.
- Sánchez-Munguía A. 2005. Uso del suelo agropecuario y deforestación en Tabasco 1950-2000. Colección José N. Rovirosa. Biodiversidad, Desarrollo Sustentable y Trópico Húmedo. Villahermosa, México: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
- Salazar-Ledesma F. 2002. Ubicación cartográfica de Villahermosa en 1579. *Boletín Oficial del INAH Antropología*, (66), 32-40.
- Salazar-Ledesma, F. (2008). De señor a tributario: Historia breve del gran Mazapa. *Península*, 3(1), 11-34. -81.
- Zavala C.J., Castillo A.O. 2007. Cambio de uso de la tierra en el estado de Tabasco. In D. J. Palma-López, & A. Triano (Eds.), *Plan de uso sustentable de los suelos del estado de Tabasco* (vol, II, pp. 38-56). Villahermosa, México.: Colegio de Posgraduados.
- Zepeda-Gómez C., Nemiga X.A., Lot Helgueras A., Madrigal-Urbe D. 2012. Análisis del cambio del uso del suelo en las ciénegas de Lerma (1973-2008) y su impacto en la vegetación acuática. *Investigaciones geográficas*, (78), 48-61.

