

Efecto de la adición
de dos niveles de

RUDA

(*Ruta chalepensis* L.)

sobre la producción de
gas metano *in vitro*

pág. 83

Año 11 • Volumen 11 • Número 11 • noviembre, 2018

PROCESO DE CARBONIZACIÓN HIDROTÉRMICA PARA INCREMENTAR
LA TRANSPORTABILIDAD DE LA BIOMASA VEGETAL 3

BIOCONSERVACIÓN, ALIMENTOS Y PESCADO 11

BIFUNCIONALIDAD DE LAS PROTEÍNAS Y PÉPTIDOS DE LA LECHE, PERSPECTIVAS
DE SU USO 17

EFFECTO DEL TIPO DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS
GRASOS EN LECHE DE VACA 21

GENERACIÓN DE BIOCARBÓN A PARTIR DEL MATERIAL SÓLIDO EN LA HIDRÓLISIS
AERÓBICO-MICROBIOLÓGICA 27

PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON PECTINA DE CÁSCARA DE PIÑA
(*Ananas comosus* L.) 35

y más artículos de interés...

3	HYDROTHERMAL CARBONIZATION PROCESS TO IMPROVE TRANSPORTABILITY OF PLANT BIOMASS / PROCESO DE CARBONIZACIÓN HIDROTÉRMICA PARA INCREMENTAR LA TRANSPORTABILIDAD DE LA BIOMASA VEGETAL
11	BIOCONSERVATION, FOOD AND FISH / BIOCONSERVACIÓN, ALIMENTOS Y PESCADO
17	BIFUNCTIONALITY OF PROTEINS AND PEPTIDES OF MILK, PERSPECTIVES OF THEIR USE / BIFUNCIONALIDAD DE LAS PROTEÍNAS Y PÉPTIDOS DE LA LECHE, PERSPECTIVAS DE SU USO
21	EFFECT OF THE DIET TYPE ON THE COMPOSITION OF FATTY ACIDS IN COW MILK / EFECTO DEL TIPO DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN LECHE DE VACA
27	BIOCARBON PRODUCTION USING SOLID MATERIAL FROM THE AEROBIC-MICROBIOLOGICAL HYDROLISIS / GENERACIÓN DE BIOCARBÓN A PARTIR DEL MATERIAL SÓLIDO EN LA HIDRÓLISIS AERÓBICO-MICROBIOLÓGICA
35	EDIBLE FILMS ELABORATED WITH PECTIN FROM PINEAPPLE (<i>Ananas comosus</i> L.) PEEL / PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON PECTINA DE CÁSCARA DE PIÑA (<i>Ananas comosus</i> L.)
41	EFFECT OF CHIA SEED (<i>Salvia hispánica</i> L.) USE IN THE ELABORATION OF STRAWBERRY JAM (<i>Fragaria xananassa</i> Duch.) AS JELLING AGENT / EFECTO DEL USO DE SEMILLA DE CHÍA (<i>Salvia hispánica</i> L.) EN LA ELABORACIÓN DE MERMELADA DE FRESA (<i>Fragaria xananassa</i> Duch.) COMO AGENTE GELIFICANTE
49	PORO DE BALANCÁN CHEESE: EFFECT OF THE ELABORATION PROCESS ON THE SAFETY, SENSORIAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES / QUESO DE PORO DE BALANCÁN: EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE INOCUIDAD SENSORIAL Y FUNCIONALES
53	<i>Legionella</i> spp., A HAZARD TO HUMAN HEALTH / <i>Legionella</i> spp., UN PELIGRO PARA LA SALUD HUMANA
59	ARTISANAL MEXICAN FOODS: NUTRITIONAL ASPECTS / ALIMENTOS ARTESANALES MEXICANOS: ASPECTOS NUTRIMENTALES
65	OPTIMIZATION AS A TOOL FOR DECISION MAKING IN SMALL-SCALE FARMING SYSTEMS / LA OPTIMIZACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN SISTEMAS AGROPECUARIOS EN PEQUEÑA ESCALA
71	EMPIRICAL LINEAR REGRESSION MODEL USED TO ESTIMATE METHANE EMISSION IN DAIRY CATTLE / MODELO DE REGRESION LINEAL EMPIRICO PARA ESTIMAR LA EMISION DE METANO EN BOVINOS LECHEROS
77	EFFECT OF FEEDING LEVEL ON <i>IN VITRO</i> METHANE GAS PRODUCTION / EFECTO DEL NIVEL DE ALIMENTACION SOBRE LA PRODUCCION DE GAS METANO <i>IN VITRO</i>
83	EFFECT OF THE ADDITION OF TWO LEVELS OF (<i>Ruta chalepensis</i> L.) ON <i>in vitro</i> METHANE GAS PRODUCTION / EFECTO DE LA ADICION DE DOS NIVELES DE RUDA (<i>Ruta chalepensis</i> L.) SOBRE LA PRODUCCION DE GAS METANO <i>in vitro</i>
89	PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN THE SYNTHESIS OF YELLOW FAT IN GRAZING BEEF CATTLE / PROCESOS FISIOLÓGICOS EN LA SÍNTESIS DE GRASA AMARILLA DE BOVINOS EN PASTOREO
97	RISK OF CONTAMINATIO IN STREET FOODS / RIESGOS DE CONTAMINACIÓN EN ALIMENTOS CONSUMIDOS EN LA CALLE
103	TOWARDS THE SUSTAINABILITY OF MAIZE (<i>Zea mays</i> L.) CULTIVATION IN ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO / HACIA LA SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ (<i>Zea mays</i> L.) EN ACAMBAY, ESTADO DE MEXICO
109	MILK AND OBESITY: ANALYSIS OF THE EFFECTS OF DIFFERENT MILK COMPONENTS ON METABOLIC HEALTH AND OBESITY / LECHE Y OBESIDAD: ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DE LA LECHE EN LA SALUD METABÓLICA Y LA OBESIDAD
115	PROBIOTICS AND NEURODEGENERATIVE DISEASES / PROBIOTICOS Y ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS
121	USE OF FLAVONOIDS AS ACTIVE INGREDIENT IN FUNCTIONAL FOODS / USO DE FLAVONOIDES COMO INGREDIENTE ACTIVO EN ALIMENTOS FUNCIONALES
129	GERMINATION OF PEANUT SEEDS (<i>Arachis hypogaea</i> L.) WITH DIFFERENT DOSES OF GIBBERELLIN / GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CACAHUATE (<i>Arachis hypogaea</i> L.) UTILIZANDO DIFERENTES DOSIS DE GIBERELINA
135	THE SUPPLY OF PECTIN IN BOVINES AND ITS EFFECT ON BLOOD CHOLESTEROL AND FAT EXCRETION / EL SUMINISTRO DE PECTINA EN BOVINOS Y SU EFECTO EN EL COLESTEROL HEMATICO Y EXCRECION DE GRASA
139	INSTITUTIONAL CAPACITY IN SANITARY POLICY OF THE NATIONAL SLAUGHTERHOUSE PROGRAM: CASE OF TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO / CAPACIDAD INSTITUCIONAL EN LA POLÍTICA SANITARIA DEL PROGRAMA NACIONAL DE RASTROS: CASO DE TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO

Comité Científico

Dr. Giuseppe Colla
University of Tuscia, Italia
ORCID: 0000-0002-3399-3622

Dra. Magaly Sánchez de Chial
Universidad de Panamá, Panamá
ORCID: 0000-0002-6393-9299

Dra. Maritza Escalona
Universidad de Ciego de Ávila, Cuba
ORCID: 0000-0002-8755-6356

Dr. Kazuo Watanabe
Universidad de Tsukuba, Japón
ORCID: 0000-0003-4350-0139

Dra. Ryoko Machida Hirano
Organización Nacional de Investigación en Agricultura y Alimentación (NARO-Japón)
ORCID: 0000-0002-7978-0235

Dr. Ignacio de los Ríos Carmenado
Universidad Politécnica de Madrid, España
ORCID: 0000-0003-2015-8983

Dra. María de Lourdes Arévalo Galarza
Colegio de Postgraduados, México
ORCID: 0000-0003-1474-2200

Dra. Libia Iris Trejo Téllez
Colegio de Postgraduados, México
ORCID: 0000-0001-8496-2095

Comité Editorial

Dr. Jorge Cadena Iñiguez
Dr. Fernando Carlos Gómez Merino
M.A. Ana Luisa Mejía Sandoval
M.C. María Isabel Iñiguez Luna
M.C. Valeria Abigail Martínez Sias
Lic. Hannah Infante Lagarda
Biól. Valeria J. Gama Ríos
Téc. Mario Alejandro Rojas Sánchez



ZOOLOGICAL RECORD®



Master Journal List

Año 11, Volumen 11, número 11, noviembre 2018, Agro productividad es una publicación mensual editada por el Colegio de Postgraduados. Carretera México-Tezcoco Km. 36.5, Montecillo, Tezcoco, 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: 2594-0252, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número, M.C. Valeria Abigail Martínez Sias. Fecha de última modificación, 30 de noviembre de 2018.

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

Contacto principal

8 Jorge Cadena Iñiguez
📍 Guerrero 9, esquina avenida Hidalgo, C.P. 56220,
San Luis Huexotla, Tezcoco, Estado de México.
✉ agroproductividadeditor@gmail.com

Contacto de soporte

8 Soporte
☎ 01(595) 928 4703
✉ agroproductividadesoporte@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.

Directrices para Autores/as

Naturaleza de los trabajos: Las contribuciones que se reciban para su eventual publicación deben ser resultados originales derivados de un trabajo académico de alto nivel sobre los tópicos presentados en la sección de temática y alcance de la revista.

Extensión y formato: Los artículos deberán estar escritos en procesador de textos, con una extensión de 15 cuartillas, tamaño carta con márgenes de 2.5 centímetros, Arial de 12 puntos, interlineado doble, sin espacio entre párrafos. Las páginas deberán estar foliadas desde la primera hasta la última en el margen inferior derecho. La extensión total incluye abordaje textual, bibliografía, gráficas, figuras, imágenes y todo material adicional. Debe evitarse el uso de sangría al inicio de los párrafos. Las secciones principales del artículo deberán escribirse en mayúsculas, negritas y alineadas a la izquierda. Los subtítulos de las secciones se escribirán con mayúsculas sólo la primera letra, negritas y alineadas a la izquierda.

Exclusividad: Los trabajos enviados a Agro Productividad deberán ser inéditos y sus autores se comprometen a no someterlos simultáneamente a la consideración de otras publicaciones; por lo que es necesario adjuntar este documento: Carta de originalidad.

Frecuencia de publicación: Cuando un autor ha publicado en la revista como autor principal o de correspondencia, deberá esperar tres números de ésta para publicar nuevamente como autor principal o de correspondencia.

Idiomas de publicación: Se recibirán textos en español con títulos, resúmenes y palabras clave en español e inglés.

ID Autores: El nombre de los autores se escribirán comenzando con el apellido o apellidos unidos por guion, sólo las iniciales del nombre, separados por comas, con un índice progresivo en su caso. Es indispensable que todos y cada uno de los autores proporcionen su número de identificador normalizado ORCID, para mayor información ingresar a (<https://orcid.org>).

Institución de adscripción: Es indispensable señalar la institución de adscripción y país de todos y cada uno de los autores, indicando exclusivamente la institución de primer nivel, sin recurrir al uso de siglas o acrónimos. Se sugiere recurrir al uso de la herramienta wayta (<http://wayta.scielo.org/>) de Scielo para evitar el uso incorrecto de nombres de instituciones.

Anonimato en la identidad de los autores: Los artículos no deberán incluir en ni en cuerpo del artículo, ni en las notas a pie de página ninguna información que revele su identidad, esto con el fin de asegurar una evaluación anónima por parte de los pares académicos que realizarán el dictamen. Si es preciso, dicha información podrá agregarse una vez que se acredite el proceso de revisión por pares.

Estructura de los artículos: Los artículos incluirán los siguientes elementos: Título, title, autores y adscripción, abstract, keywords, resumen, palabras clave, introducción, objetivos, materiales y métodos, resultados y discusión, conclusiones y literatura citada en formato APA.

Título: Debe ser breve y reflejar claramente el contenido, deberá estar escrito en español e inglés. Cuando se incluyan nombres científicos deben escribirse en itálicas. No deberá contener abreviaturas ni exceder de 20 palabras, se usará solo letras mayúsculas, en negritas, centrado y no llevará punto final.

Resumen y Abstract: Deberá integrarse un resumen en inglés y español (siguiendo ese orden), de máximo 250 palabras, donde se destaque obligatoriamente y en este orden: a) objetivo; b) diseño / metodología / aproximación; c) resultados; d) limitaciones / implicaciones; e) hallazgos/ conclusiones. El resumen no deberá incluir citas, referencias bibliográficas, gráficas ni figuras.

Palabras clave y Keywords: Se deberá incluir una lista de 3 a 5 palabras clave en español e inglés que permitan identificar el ámbito temático que aborda el artículo.

Introducción: Se asentará con claridad el estado actual del conocimiento sobre el tema investigado, su justificación e importancia, así como los objetivos del trabajo. No deberá ser mayor a dos cuartillas.

Materiales y Métodos: Se especificará cómo se llevó a cabo la investigación, incluyendo el tipo de investigación, diseño experimental (cuando se traten de investigaciones experimentales), equipos, substancias y materiales empleados, métodos, técnicas, procedimientos, así como el análisis estadístico de los datos obtenidos.

Resultados y Discusión: Puede presentarse en una sola sección. En caso de presentarse de forma separada, la discusión debe enfocarse a comentar los resultados (sin repetirlos), en términos de sus características mismas, su congruencia con la hipótesis planteada y sus semejanzas o diferencias con resultados de investigaciones similares previamente realizadas.

Conclusiones: Son la generalización de los resultados obtenidos; deben ser puntuales, claras y concisas, y no deben llevar discusión, haciendo hincapié en los aspectos nuevos e importantes de los resultados obtenidos y que establezcan los parámetros finales de lo observado en el estudio.

Agradecimientos: Son opcionales y tendrán un máximo de tres renglones para expresar agradecimientos a personas e instituciones que hayan contribuido a la realización del trabajo.

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. Se recomienda que los cuadros y ecuaciones se preparen con el editor de tablas y ecuaciones del procesador de textos.

Uso de siglas y acrónimos: Para el uso de acrónimos y siglas en el texto, la primera vez que se mencionen, se recomienda escribir el nombre completo al que corresponde y enseguida colocar la sigla entre paréntesis. Ejemplo: Petróleos Mexicanos (Pemex), después sólo Pemex.

Elementos gráficos: Corresponden a dibujos, gráficas, diagramas y fotografías. 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. Las figuras deben numerarse

progresivamente, indicando después de la referencia numérica el título del mismo (Figura 1. Título), y se colocarán en la parte inferior. Las fotografías deben ser de preferencia a colores y con una resolución de 300 dpi en formato JPEG, TIFF O RAW. El autor deberá enviar 2 fotografías adicionales para ilustrar la página inicial de su contribución. 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 bibliográficas: deberán insertarse en el texto abriendo un paréntesis con el apellido del autor, el año de la publicación y la página, todo separado por comas. Ejemplo (Zheng *et al.*, 2017). El autor puede introducir dos distintos tipos de citas:

Citas directas de menos de 40 palabras: Cuando se transcriben textualmente menos de 40 palabras, la cita se coloca entre comillas y al final se añade entre paréntesis el autor, el año y la página. Ejemplo:

Alineado al Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018, (DOF, 2013), el Programa Sectorial de Desarrollo Agropecuario, Pesquero y Alimentario 2013-2018 establece "Construir un nuevo rostro del campo sustentado en un sector agroalimentario productivo, competitivo, rentable, sustentable y justo que garantice la seguridad alimentaria del país" (DOF, 2013).

Citas indirectas o paráfrasis: Cuando se interpretan o se comentan ideas que son tomadas de otro texto, o bien cuando se expresa el mismo contenido pero con diferente estructura sintáctica. En este caso se debe indicar el apellido del autor y el año de la referencia de donde se toman las ideas. Ejemplo:

Los bajos rendimientos del cacao en México, de acuerdo con Avendaño *et al.* (2011) y Hernández-Gómez *et al.* (2015); se debe principalmente a la edad avanzada de las plantaciones.

Las referencias bibliográficas: al final del artículo deberán indicarse todas y cada una de las fuentes citadas en el cuerpo del texto (incluyendo notas, fuentes de los cuadros, gráficas, mapas, tablas, figuras etcétera). El autor(es) debe revisar cuidadosamente que no haya omisiones ni inconsistencias entre las obras citadas y la bibliografía. Se incluirá en la lista de referencias sólo las obras citadas en el cuerpo y notas del artículo. La bibliografía deberá presentarse estandarizada recurriendo a la norma APA, ordenarse alfabéticamente según los apellidos del autor.

De haber dos obras o más del mismo autor, éstas se listan de manera cronológica iniciando con la más antigua. Obras de un mismo autor y año de publicación se les agregará a, b, c... Por ejemplo:

Ogata N. (2003a).
Ogata N. (2003b).

Artículo de revista:

Wang, P., Zhang, Y., Zhao, L., Mo, B., & Luo, T. (2017). Effect of Gamma Rays on *Sophora davidii* and Detection of DNA Polymorphism through ISSR Marker [Research article]. <https://doi.org/10.1155/2017/8576404>

Libro:

Turner J. (1972). Freedom to build, dweller control of the housing process. New York: Macmillan.

Uso de gestores bibliográficos: Se dará prioridad a los artículos enviados con la bibliografía gestionada electrónicamente, y presentada con la norma APA. Los autores podrán recurrir al uso de cualquier gestor disponible en el mercado (Reference Manager, Crossref o Mendeley entre otros), o de código abierto tal como Refworks o Zotero.

HYDROTHERMAL CARBONIZATION PROCESS TO IMPROVE TRANSPORTABILITY OF PLANT BIOMASS

PROCESO DE CARBONIZACIÓN HIDROTÉRMICA PARA INCREMENTAR LA TRANSPORTABILIDAD DE LA BIOMASA VEGETAL

Mathias Schlegel¹; Bassel Ibrahim²; Ortiz-Laurel, H.³; Rössel-Kipping, D.^{4*}; Jozef Fras⁵; Norbert Kanswohl¹; Jens Zosel⁶

¹University of Rostock, Faculty of Agriculture and Environmental Sciences, 18059 Rostock, Justus-von-Liebig-Weg 6b, Germany. (mathias.schlegel@uni-rostock.de). ²Innovation and Education Center e.V. Hohen Luckow, 18239 Hohen Luckow, Bützower Str. 1a, Germany. (bassel.ibrahim@ibz-hl.de). ³Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, km 348, Carr. Fed. Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, 94946. México. (hlaurel@colpos.mx). ⁴Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Salinas de Hgo., S.L.P., C.P. 78600. México. (edietmar@colpos.mx). ⁵Politechnika Poznanska, Katedra Nauk Ekonomicznych, 60-965 Poznan, Ul. Strzelecka 11, Poland. (jozef.fras@put.poznan.pl). ⁶Kurt-Schwabe-Institute for Measuring and Sensor Technology e.V., 04736 Waldheim, Kurt-Schwabe-Str. 4, Germany. (zosel@ksi-meinsberg.de).

*Autor de correspondencia: edietmar@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: Integration of the hydrothermal carbonization process in the treatment of biological wastes in order to increase biomass transportability by obtaining new products with added value.

Design/methodology/approach: Fresh biomass is poured into a hermetic and pressurized reactor. Process progress is determined first from data coming of lignocellulose composition in the biomass and from processing conditions; temperature, pressure and processing time. Samples must be extracted which should be synchronized with technical pauses during the process advancement, to be analytically assessed. Slurry from HTC can be extracted in liquid state through valves placed on the reactor.

Results: A stable quality of carbon obtained from biomass from various sources can be attained, when measurements are made at relatively short intervals along the process. This offers the opportunity to control and optimize the process performance, supported by results obtained in real time.

Study limitations/implications: There are fluctuations in the quality of different types of biocarbon produced. Biomass composition must be analyzed, particularly the dry matter. At present, there are no suitable methods to monitor the carbonization process.

Findings/conclusions: Hydrothermal carbonization is a faster process and it is possible to interfere with it, in order to balance the different types of biocarbon in terms of quality, by performing adequate adjustments in function of data obtained in real time.

Keywords: quality control, process control, process techniques, hydrothermal, biocarbon.

RESUMEN

Objetivo: Integración del proceso de carbonización hidrotérmica en residuos biológicos para incrementar la transportabilidad de la biomasa mediante la obtención de productos con valor agregado.

Diseño/metodología/aproximación: Se suministra biomasa fresca a un reactor de presión hermético. El progreso del proceso está determinado por los datos de la composición de la lignocelulosa en la biomasa y por las condiciones del proceso; la temperatura, la presión y el tiempo de residencia. Deben extraerse muestras de manera sincronizada con las pausas técnicas durante el avance del proceso y deben ser evaluadas analíticamente. El lodo del HTC puede extraerse en estado líquido a través de válvulas en el reactor.

Resultados: Una calidad estable del carbón obtenido de biomasa proveniente de diferentes fuentes puede ser conseguida, al realizar mediciones a intervalos relativamente cortos durante el proceso, lo que abre la oportunidad para controlar y optimizar la conducción de estos procesos, sustentados en resultados obtenidos en tiempo real.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Hay fluctuaciones en la calidad de los diferentes tipos de biocarbón producidos. La composición de la biomasa debe ser analizada, en particular la materia seca. No se dispone de métodos apropiados para monitorear el proceso de carbonización.

Hallazgos/conclusiones: La carbonización hidrotérmica es un proceso más rápido y es posible interferir en él para equilibrar los diferentes tipos de biocarbón en términos de calidad al realizar los ajustes adecuados en función de los datos obtenidos en tiempo real.

Palabras clave: control de calidad, control del proceso, técnicas de proceso, hidrotérmico, biocarbón.

rés por extraer, se encuentra en una dilución; representando cantidades mínimas de carbono. Por lo anterior y haciendo referencia al caso descrito anteriormente sobre las biomásas con baja densidad de carbón, es indicativo de que el transporte de estos materiales sea menos rentable. Además de que, el uso mayormente conocido para el carbón mineral, es como combustible, requiriéndose de un mayor grado de transportabilidad, lo cual impacta en los costos, razón que debe conducir a la búsqueda de otras opciones más interesantes para su uso (Trici *et al.*, 2007; Tropsch and Phillipovich, 1922). Entre alguna de éstas; su uso como un componente absorbente resulta bastante interesante. Ya que, cuando algunos elementos como el fósforo, el nitrógeno o el azufre es absorbido con el carbón, éste puede actuar por la polaridad de su molécula como un componente básico para la Terra Preta (Glaser *et al.*, 2001).

Para incrementar su transportabilidad, se promueve la integración de un proceso técnico de carácter termoquímico, para que influya sobre esa biomasa, especialmente conocido como carbonización hidrotérmica (HTC siglas – por su nombre en inglés). Este proceso simula fielmente el procesamiento natural descrito en párrafos anteriores.

MATERIALES Y MÉTODOS

Dos particularidades fundamentales caracterizan el HTC, en el que por los rangos operativo de los parámetros involucrados en el proceso, necesariamente debe ser llevado a cabo en un reactor de presión completamente hermético. Primeramente, se ajusta una alta temperatura (180 °C a 250 °C), la cual afecta directamente a la presión dentro del

INTRODUCCIÓN

El carbón mineral que actualmente se utiliza como material combustible fue producido en el periodo Carbonífero. En un inicio, la biomasa muerta proveniente de las zonas boscosas fue afectada por procesos microbiológicos y posteriormente por efectos tectónicos. Estos últimos provocaron que, elevadas presiones y temperaturas operaran sobre ese material biológico. Ante esas condiciones, se redujo considerablemente la proporción de oxígeno e hidrógeno presentes en la biomasa; que son los principales componentes del agua en las plantas, dando como resultado que, se incrementará el contenido de carbono y que, entre los grandes compuestos que se originaron fue el carbón mineral. Lo que caracteriza al carbón mineral así producido es, su elevada densidad energética comparada con el material original. Por lo que, en términos energéticos, resulta más atractivo transportar carbón mineral en lugar de madera (Trici *et al.*, 2007). Hoy en día, se dispone de sitios con abundante concentración de biomasa, la cual corresponde a los restos de los alimentos de la cocina, los residuos agrícolas o los residuos orgánicos de las comunidades entre otros. Estos no son, ni remotamente similares comparativamente a la biomasa muerta del periodo Carbonífero. Ya que éstos últimos contienen mucha agua, lo que significa que ese mineral llamado carbón en el que existe inte-

reactor (aprox. 10 - 40 bar). Esto último está determinado principalmente por la evaporación del agua de la planta y del agua adicional agregada para la conducción del proceso. El segundo aspecto, el cual puede considerarse como parcial e indirecto, es un reflejo para la optimización del primer aspecto mencionado anteriormente y consiste en utilizar solo biomásas frescas.

La posibilidad de utilizar biomásas frescas como materia prima, distingue a este proceso de otros tratamientos termoquímicos conocidos, como el de la pirólisis. En este último, solamente las biomásas más secas y que contengan lignocelulosa pueden ser carbonizadas. El equipo que se utiliza para conducir el proceso de la pirólisis no es tan complicado como lo es para el HTC, pero la producción de un carbón-HTC con la calidad deseada es más rápido con el HTC (Trici et al., 2007). En general, un lote de biomasa vegetal consiste de gran variedad de componentes. Además de las grasas y las proteínas, se puede encontrar un número considerable de hidratos de carbono. Entre estos últimos se encuentran los llamados lignocelulósicos, los cuales pueden ser subdivididos en hemicelulosa, celulosa y lignina. Esos componentes tienen distribuciones diversas en las diferentes plantas. Estas variaciones son también detectables dentro de la misma planta, lo cual convierte a la biomasa original en un material bastante heterogéneo. Por lo anterior y operando de acuerdo a las condiciones del proceso HTC, los componentes individuales de lignocelulosa son transformados a diferentes velocidades (Figura 1). La hemicelulosa es descompuesta con mayor rapidez que la lignina debido a su débil estructura interna. Las estructuras de los residuos derivados de esos componentes, permanecen más estables donde sus constituyentes muestran evidencias precisas de que se consolida la morfología del carbón deseado y así conseguir el biocarbón.

La morfología base de ese carbón se describe cualitativamente, consi-

derando el número y tamaño de los poros, la relación atómica carbono-oxígeno y el rendimiento, así como por otros parámetros. El progreso del proceso, que puede definirse con esos parámetros está determinado por la biomasa original inicial (composición de la lignocelulosa) por un lado, mientras que por el otro, por las condiciones del proceso, en particular la temperatura, la presión y el tiempo de residencia (Figura 1).

Previo a la carbonización, la composición de la materia prima utilizada debe ser estimada o analizada, en particular la materia seca. Esas y algunas otras mediciones son necesarias para los ajustes iniciales de la temperatura, la presión, el tiempo de residencia y otros parámetros del proceso. La calidad final del biocarbón producido puede ser evaluada solamente después de que se ha completado el proceso de carbonización. Cada proceso de carbonización conduce a calidades diferentes del biocarbón, debido a la heterogeneidad de la biomasa cruda mencionada anteriormente y su interacción con las condiciones del proceso. Esta variación tiene un efecto muy desventajoso cuando el biocarbón producido va a ser utilizado como un material funcional, por ejemplo, como un ingrediente para reforzar a los elastómeros y los plásticos (Autorenkollektiv A, 2017; Autorenkollektiv B, 2017). Por lo tanto, el problema radica en la dificultad para poder producir biocarbón con una calidad constante (Rödger et al., 2012). Lo anterior sustenta el desarrollo de las estrategias, la ingeniería del proceso y estar en

posibilidades de ofrecer las soluciones técnicas para la producción de un biocarbón con calidades suficientemente consistentes. En principio, se determinará en cual fase del proceso, la información que se consigue es relevante respecto a la esperada calidad. Para proporcionar dicha información, se monitorearán las rutas temporales que siguen las concentraciones de los productos esenciales, al iniciar y al concluir las reacciones descritas en la Figura 1. Debido a las altas

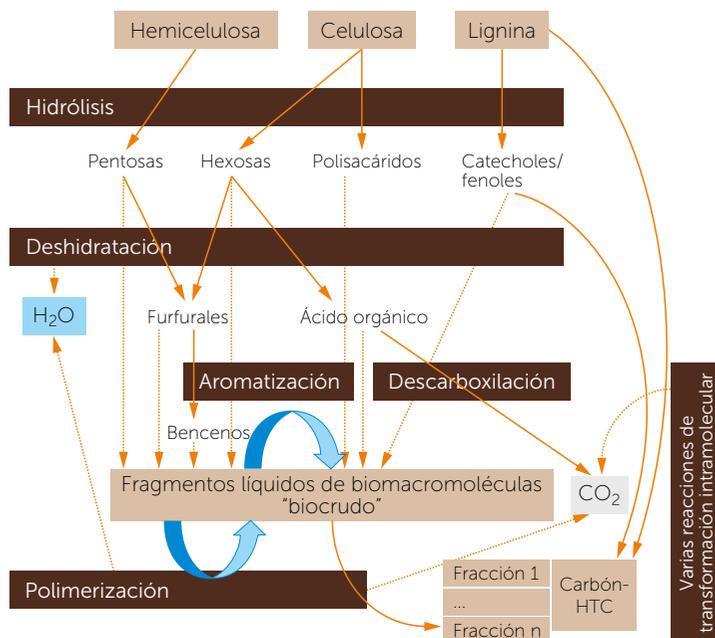


Figura 1. Esquema del mecanismo de actuación de las reacciones relevantes de la carbonización hidrotérmica. Adaptado de Funke (2012).



temperaturas y las elevadas presiones dentro del reactor HTC, no es posible realizar las mediciones de esos parámetros de manera directa, por lo que, esos procesos aún ocurren en una “caja negra”. Sin embargo, es posible realizar muestreos durante las fases del proceso y analizar las muestras, por lo que se describe lo acontecido en cada una de ellas.

Fase líquida: En el reactor y justo al inicio del proceso, la biomasa que será transformada debe estar cubierta con el agua del proceso, ya que así, el calor suministrado se distribuye de manera homogénea y con mayor rapidez al interior del reactor. Cuando se alcanzan las altas temperaturas y ocurren las reacciones mostradas en la Figura 1, pueden encontrarse varios productos a partir de las reacciones en el lodo del HTC. Entre ellos, azúcares, furfural oligomérico y monomérico, 5-hidroximetil, 2-furaldehído (HMF), ácidos orgánicos (ácido acético, levulínico, fórmico y láctico, y fenoles, entre otros) (Stemann, 2013).

Fase gaseosa: De acuerdo a la Ley de Raoult, los productos del proceso contenidos en el lodo HTC se acumulan gradualmente en el espacio superior gaseoso, por lo que, se puede utilizar esta característica para monitorear el proceso. Esta transición no afecta a los componentes que requieren de una ebullición a mayor temperatura, como la glucosa y la xilosa, pero los productos generados durante su degradación o los intermedios que resulten de ahí en adelante, se encuentran en estado gaseoso. Esos compuestos pueden ser evaluados analíticamente en los condensados que son extraídos de manera sincronizada con las pausas técnicas durante el avance del proceso.

El lodo del HTC puede ser extraído relativamente sencillo en un estado líquido a través de válvulas en el reactor HTC. Sin embargo, la notable heterogeneidad del lodo del HTC tiene un efecto negativo, el cual requiere de la separación de las fases sólido y líquido previo a los estudios analíticos, por medio de la cromatografía líquida de alto rendimiento (HPLC – siglas por su nombre en inglés) o por la cromatografía de gases (GC – siglas por su nombre en inglés). Este pre-tratamiento requerido a la muestra conduce por un lado, a retrasos en tiempo y por otro lado, a cambios en su concentración debido a la adsorción o por la expulsión de gas, lo cual puede afectar el monitoreo confiable del proceso HTC. Aunque, se entiende que es necesario un pre-tratamiento sin gran complejidad para el análisis de la fase gaseosa; pero

éste tiene la desventaja de que no todos los productos presentes a lo largo de los diferentes sub-procesos puedan ser detectados. Por lo tanto, conviene conducir un análisis de la fase gaseosa bajo las condiciones controladas de temperatura y presión, en el instante al detectar su ubicación en el espacio superior. Se obtendrá información sobre el estado actual del proceso en el lodo del HTC, especialmente su contenido de biocarbón. Se asume que, un compuesto con mucha hemicelulosa y poca lignina produce un patrón característico de productos volátiles en descomposición durante la degradación, los cuales difieren del patrón de los productos volátiles en descomposición cuando se tiene mucha lignina y poca hemicelulosa (Universität Rostock, 2016). A partir de lo anterior, pueden establecerse ciertas correlaciones entre el patrón generado por los productos de la descomposición y la calidad del biocarbón. De esta manera, concluye el dilema entre los registros previos de la biomasa original con la que se inicia el proceso, relacionados a su composición y la esperada calidad del biocarbón, después del proceso de carbonización en función de condiciones particulares de temperatura, de presión y de tiempo de residencia (Lide, 2005).

Aunque hoy en día, son altamente conocidos los reactores de flujo continuo y las autoclaves que operan por lotes, las soluciones técnicas pueden ser asignadas sin distinción a ambos grupos de equipamientos. El diseño del autoclave por lotes (Figura 2) satisface el objetivo de este estudio; extracción de mezclas de gas desde el espacio superior de los reactores HTC. Este ofrece la posibilidad de que, empleando una válvula de control automática se logra una remoción segura, confiable y sin alteración de las mezclas de gas con los compuestos volátiles contenidos ahí. Con lo anterior, es posible utilizar este principio de medición en otras configuraciones de equipamiento, como en los reactores de flujo por pistón entre otros. De hecho, se requiere de otros aparatos pero es factible que al conseguir una extracción de la fase gaseosa se deriven conclusiones acerca del estado del proceso.

Después de la separación y enfriamiento de las mezclas gaseosas extraídas, éstas se condensan en una solución acuosa a temperaturas entre cero y 20 °C a presión normal. Este condensado puede ser analizado por medio de cromatografía, espectroscopia o métodos fotométricos. La Figura 3 muestra un cromatograma de un proceso hidrotérmico, el cual fue obtenido por medio del HPLC referido al lodo reciclado del HTC. Las derivaciones

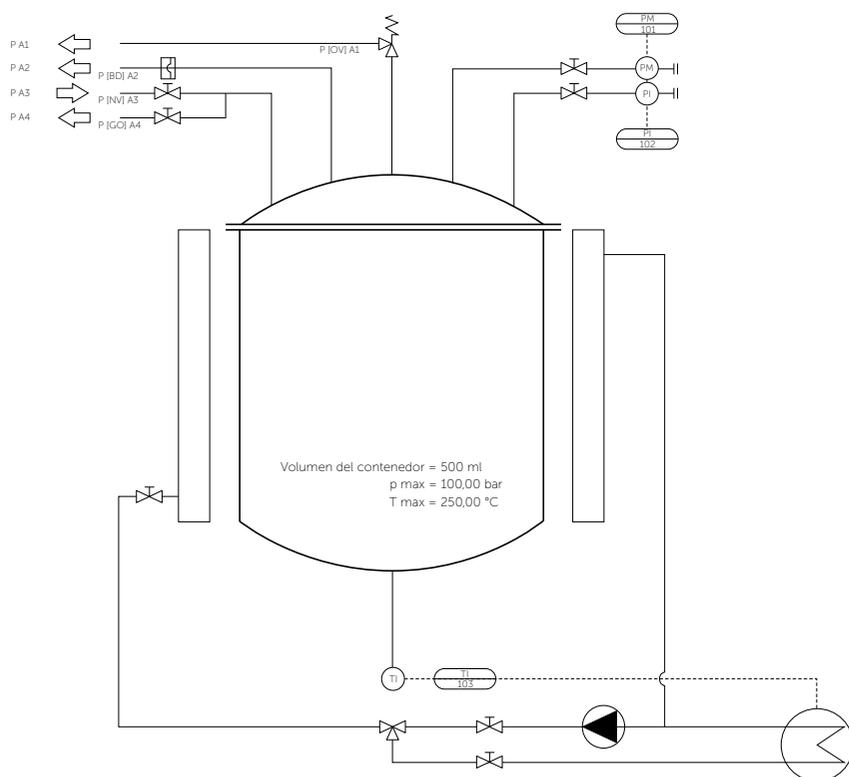


Figura 2. Dibujo técnico de un reactor para uso en laboratorio para la carbonización hidrotérmica Adaptado de Anonymous D (2017).

mencionadas anteriormente acerca de la concentración de los compuestos volátiles debido a los pre-tratamientos pueden ser esclarecidos aquí.

Algunos de los compuestos detectados y accesibles para el análisis pertenecen al grupo de compuestos or-

gánicos volátiles (Compuestos Orgánicos Volátiles Totales (TVOC – siglas por su nombre en inglés). Estos incluyen a los compuestos listados en el Cuadro 1, los cuales se evaporan o volatilizan debido a su presión de vapor o a su bajo punto de ebullición (Lide, 2005).

Igualmente, algunos de los compuestos químicos localizados se enlistan para enunciar que éstos, fueron encontrados del análisis durante la fase gaseosa de los procesos HTC (Cuadro 2). La información previa contenida acerca de las relaciones entre estos compuestos y la de sus sustancias precursoras durante la fase líquida, sirve de fundamento y será de gran utilidad para comprender y aclarar los procesos HTC.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El llevar a cabo este análisis extensivo automáticamente y a intervalos relativamente cortos durante el proceso, abren la oportunidad para controlar y optimizar la conducción de dichos procesos, sustentados en resultados obtenidos en tiempo real (Lide, 2005). De esta manera, la calidad del biocarbón producido puede entonces ser ajustada en cada proceso de carbonización individual, de tal manera que, el resultado deseado al finalizar el proceso se

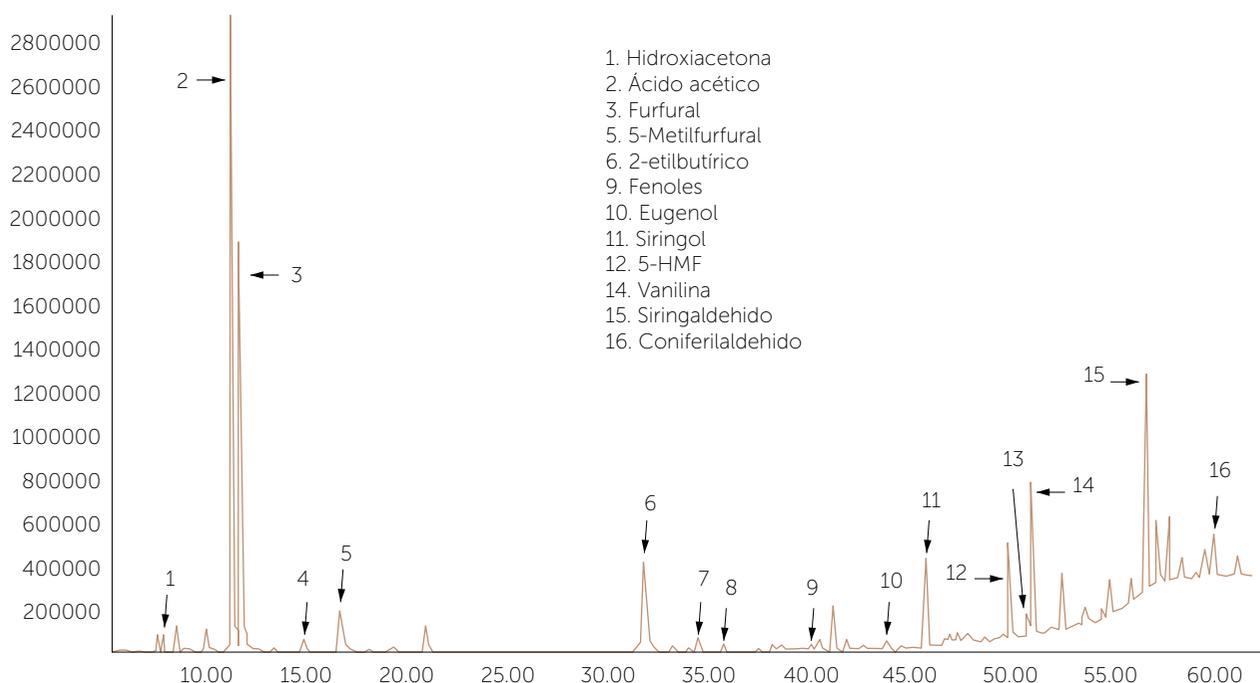


Figura 3. Cromatograma tomado por el HPLC del lodo reciclado HTC tomado por el HPLC (Schmidt, 2017).



Cuadro 1. Compuestos orgánicos volátiles (compuestos orgánicos volátiles totales (TVOC)) (Anonymous A, 2017; Anonymous B, 2017).

Clasificación	Ejemplo	Área de retención	Rango de ebullición (°C)
Compuestos orgánicos muy volátiles (VVOC)*	Formaldehído, acetona, alcoholes	<C6 (n-Hexano)	<0 - 100
Compuestos orgánicos volátiles (VOC)*	Agua de colonia	C7 - C16	50 - 260
Compuestos orgánicos semi-volátiles (SVOC)*	Plastificantes	>C17 (n-Hexadecano) - C22 (n-Docosano)	240 - 400
Compuestos orgánicos microbiales volátiles (MVOC)*	Productos metabólicos, por ejemplo, el moho	-	-
Compuestos org. asoci. con material en partículas o partículas de materia orgánica (materia orgánica policíclica (POM)* o hidratos de carbono poliaromáticos (PAK)*	... compuestos que resultan del bitumen	-	>380

*siglas por sus nombres en inglés.

Cuadro 2. Compuestos químicos en la fase gaseosa del HTC.

Compuestos		Punto de ebullición (°C)
Ester	e.g. Etil acetato	77
Eter	e.g. Tetrahidrofuran (eter cíclico)	66
Alcoholes	Alcohol etílico	78
	Alcohol metílico	65
Fenoles	(Metoxifenoles)	200-244
	(Hidroxibenceno)	182
	(Catechol)	245
Ácidos orgánicos	Ácido acético	118
	Levulinico	245
	Ácido fórmico	101
Furfural		162
Derivados de Furano	(e.g. Hidroxiacetil furano)	aprox. 32 (Anonymous C, 2017)
	(e.g. 5-Hidroximetilfurfural)	114

logre en cada caso. Además de que, adicionales y novedosos descubrimientos pueden conseguirse acerca de los procesos HTC, los cuales pueden ser registrados, en la forma de patrones definidos y conservados en bases de datos, los cuales puedan ser utilizados para procesos específicos de seguimiento y de optimización al correlacionarlos con los datos de la biomasa original.

CONCLUSIONES

La puesta en práctica de la estrategia científica innovadora sustentada en el proceso termoquímico de la carbonización hidrotérmica aplicada directamente sobre la biomasa ha resultado exitosa. Se abren oportunidades para conducir otros procesos térmicos e hidrotérmicos, que puedan ser llevados a cabo

en otros rangos de temperatura y presión; tales como la pirólisis, la gasificación y la licuefacción hidrotérmica.

LITERATURA CITADA

Anonymous A. 2017. http://www.chemie.de/lexikon/FI%C3%BCchtige_organische_Verbindungen.html (consultado el 25.08.17).

Anonymous B. 2017. <http://www.enius.de/schadstoffe/voc.html> (consultado el 25.08.2017).

Anonymous C. 2017. ChemSpider – Search and share chemistry: Furan. <http://www.chemspider.com/Chemical-Structure.7738.html> (consultado el 07.09.2017).

Anonymous D. 2012. Fa. TAB, Rostock.

Autorenkollektiv A. 2017. Technische Kohlenstoffe. unter <https://www.suncoal.com/loesungen/technical-carbons/?lang=de> (consultado el 24.08.2017).

Autorenkollektiv B. 2017. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/infomaterial/brochures/>

- wasserstofftechnologien/15_dt_ISE_Flyer_Stoffliche%20Ligninnutzung_web.pdf (consultado el 24.08.2017).
- Funke A. 2012. Hydrothermale Karbonisierung von Biomasse – Reaktionsmechanismen und Reaktionswärme. Dissertation, Fakultät III- Prozesswissenschaften der TU Berlin.
- Glaser B., Haumaier L., Guggenberger G., Zech W. 2001. The 'terra preta' phenomenon: A model for sustainable agriculture in the humid tropics. *Naturwissenschaften* 88: 37-41.
- Lide D.R. 2005. CRC Handbook of Chemistry and Physics. 90. Auflage, CRC Press/Taylor and Francis, Boca Raton, Ebullioscopic constants for calculation of boiling point evaluation. 2660 p.
- Rödger J.M., Loewen A., Shackley S.J. 2012. Ökobilanz im Rahmen des EU -Interreg Projektes "Biochar: Climate saving soil". 73. Symposium des ANS e.V. Biokohle – Herstellung, Erzeugung und Bewertung Donnerstag, 20. September 2012, Umweltforum Berlin.
- Schmidt T. 2017. Spitzencluster BioEconomy – "Energetische Nutzung und Optimierung im Gesamtzusammenhang der Kaskadennutzung", DBFZ, <https://www.dbfz.de/schwerpunkte/referenzprojekte/spitzencluster-bioeconomy-energetische-nutzung-und-optimierung-im-gesamtzusammenhang-der-kaskadennutzung/archive/2017/7/article/0.html> (consultado el 25.08.2017).
- Stemann J. 2013. Hydrothermale Carbonisierung: Stoffliche und energetische Kreislaufführung. Dissertation. TU Berlin, Fakultät III – Prozesswissenschaften.
- Titrici M.M., Thomas A., Antonietti M. 2007. Back in the black: hydrothermal carbonization of plant material as an efficient chemical process to treat the CO2 problem? *New J Chem* 31: 787-789.
- Tropsch H., Phillipovich A. 1922. Über die künstliche Inkohlung von Cellulose und Lignin in Gegenwart von Wasser. *Gesammelte Abhandlungen zur Kenntnis der Kohle* 7: 84-102. (<http://www.ans-ev.de/global/download/%7BMPKXEZWVVA-1092012184053-CHXMTKSVPM%7D.pdf>. (consultado el 15.09.2017).
- Universität Rostock. 2016. Verfahren zur Herstellung von Biokohle. Erfinder: Mathias Schlegel, Bassel Ibrahim. Anmeldung: 21.12.2016, DE10 2016 125 286



BIOCONSERVATION, FOOD AND FISH

BIOCONSERVACIÓN, ALIMENTOS Y PESCADO

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

¹Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+). Calle Dos No. 23. Cd. del Conocimiento. Av. Emilio M. González. Cd. Industrial. C.P. 63173. Tepic, Nayarit, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México. ³Instituto Politécnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Av. Wilfrido Massieu, Esq. Calzada Miguel Stampa s/n, Del. Gustavo A. Madero 07738 Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia: alecortes_1@hotmail.com

ABSTRACT

Objective: The aim of this work was to present general information regarding foodborne diseases (FDs) and bio-preservation processes with lactic acid bacteria (LAB) and their metabolites as alternative to increase the shelf life, safety, sensory and nutritional properties of foods, focusing on products such as fish.

Methodology: For the development of this document, a search and analysis of pertinent information was carried out in different scientific and academic databases such as Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Scholar, among others.

Results: In recent years, the trend towards consumption of natural foods, free of chemicals and minimally processed, has developed. For these purposes, the role of LAB in the generation, conservation, and safety of foods through their growth and production of bioactive metabolites has been demonstrated.

Implications: Bioconservation of foods by LAB and / or their metabolites is still under study and requires more research on stability and effectiveness in different food production processes; its use should be complemented and does not substitute hygiene procedures in food processing.

Conclusions: FDs are a relevant issue in public health around the world due to their incidence and mortality. Fish is considered to be a nutritious and perishable food with easy contamination and deterioration in the food chain, becoming a potential risk to consumer health. In view of this, LAB emerge as representatives in the production and bio-preservation of foods, contributing to sensory, nutritional and safety properties.

Key words: LAB, fish, bioconservation, processing, food safety.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 11-16.

Recibido: septiembre, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.

RESUMEN

Objetivo: Presentar de manera general información referente a las enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) y procesos de bioconservación con bacterias ácido lácticas (BAL) y sus metabolitos como medidas alternativas para incrementar vida de anaquel, inocuidad, propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos haciendo un enfoque a productos como el pescado.

Metodología: Para el desarrollo del presente documento se realizó la búsqueda y análisis de información pertinente en diferentes bases de datos científicas y académicas como Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Académico entre otras.

Resultados: En los últimos años se ha generado la tendencia al consumo de alimentos naturales libres de químicos y mínimamente procesados. Para tales fines se ha demostrado la función de las BAL en la generación, conservación, e inocuidad de los alimentos a través de su crecimiento y producción de metabolitos bioactivos. Implicaciones: La bioconservación de alimentos por BAL y/o sus metabolitos aún continua en estudio y requiere mayor investigación sobre la estabilidad y efectividad en distintos procesos de producción de alimentos; su uso deberá ser complementado y no sustituto de procedimientos de higiene en la elaboración de alimentos.

Conclusiones: Las ETA son tema relevante en salud pública alrededor del mundo debido a su incidencia y mortalidad. El pescado es considerado un alimento nutritivo y perecedero de fácil contaminación y deterioro en la cadena alimentaria convirtiéndose en un potencial riesgo a la salud del consumidor. Ante esto las BAL surgen como representantes en la producción y bioconservación de alimentos, contribuyendo en las propiedades sensoriales, nutricionales e inocuas.

Palabras clave: BAL, pescado, bioconservación, procesamiento, inocuidad

mediante la aplicación de diversos sistemas de control que aseguren la ausencia de microorganismos patógenos en el ambiente alimentario (García *et al.*, 2010). El presente artículo muestra información referente a las ETA y el proceso de bioconservación a través del uso de BAL, y metabolitos como medidas alternativas para incrementar la vida de anaquel, calidad higiénica, propiedades sensoriales y nutricionales de los alimentos con un enfoque en pescado y derivados.

Enfermedades transmitidas por alimentos (ETA).

Las ETA se definen como aquellas enfermedades derivadas de la ingestión de agua y alimentos infectados con contaminantes en cantidades suficientes para afectar la salud del consumidor (Koooper *et al.*, 2009; García *et al.*, 2012). Son consideradas como un problema a nivel mundial desde el ámbito social, tecnológico, económico, cultural y político (Koooper *et al.*, 2009) y se han descrito más de 250 agentes causales, donde se involucran agentes físicos, químicos y biológicos siendo estos últimos los relacionados con mayor frecuencia en brotes, tales como la *Salmonella* spp., *Clostridium* spp., *L. monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Campylobacter* spp., *Shigella* spp., *Vibrio* spp., y *E. coli* (Fuente y Barboza, 2010; García *et al.*, 2012). Su afectación más común es en el sistema gastrointestinal, y se estima que una de cada 10 personas las padece, reportando alrededor de 420,000 muertes (una tercera parte son infantes) anuales alrededor del mundo (WHO, 2018). La incidencia de ETA ha ido en ascenso en los últimos años, factores como cambios en los hábitos alimentarios de la población, la globalización del mercado, el desarrollo

INTRODUCCIÓN

La calidad nutricional y la inocuidad de los alimentos durante toda la cadena alimentaria (desde el campo hasta la mesa del consumidor) son considerados factores significativos que impactan en la salud y calidad de vida de la población (Koooper *et al.*, 2009). La inocuidad de un alimento es la garantía de que éste no generará un daño a la salud de quien lo consume; los alimentos son la principal fuente de exposición a agentes nocivos para la salud tanto de origen químico como biológico (virus, hongos, parásitos y bacterias). Cuando los alimentos son contaminados a niveles inaceptables por microorganismos, contaminantes químicos u otras características peligrosas, conllevan riesgos sustanciales para la salud de los consumidores representando una importante carga económica para las naciones (Fuente y Barboza, 2010). La inocuidad constituye uno de los cuatro grupos básicos de características acompañado de las nutricionales, organolépticas y comerciales, que engloban la calidad total de los alimentos (Fuente y Barboza, 2010). Por lo tanto, la industria alimentaria presenta como principal reto el garantizar la seguridad de los diferentes productos alimenticios que genera y comercializa,

de nuevos productos y procesos de fabricación, la creciente demanda por alimentos mínimamente procesados, o listos para el consumo que requieren, y por lo general de un mejor cuidado durante la cadena de producción que es más larga y compleja, aumentan el riesgo de contaminación de los alimentos (García et al., 2010; García et al., 2012).

Pescado, alimentación y salud

Los pescados son organismos acuáticos procedentes de la pesca de captura y acuicultura, son fuente de alimento, nutrición, ingresos y medios de vida para millones de personas alrededor del mundo (FAO, 2016). Como alimento, son altamente nutritivos al ser fuente de agua (66%-81%), proteínas de alto valor biológico y digestibilidad (16%-21%), carbohidratos (<0.5%), minerales (1.2%-1.5%) (potasio, calcio y fósforo), vitaminas (complejo B, vitamina A, D) y lípidos (0.2%-25%) (ácidos grasos poliinsaturados) que contribuyen a una dieta sana y equilibrada (FAO, 1998; Dávalos et al., 2005; Silva et al., 2017). Cabe señalar que la composición del pescado puede diferir entre las diferentes especies y entre individuos de una misma especie, edad, sexo, medio ambiente y estación del año, así mismo, está relacionada con la alimentación, nado migratorio y cambios sexuales relacionados con el desove (FAO, 1998). El pescado es un alimento muy perecedero que depende principalmente de las condiciones de manipulación y de rápido deterioro (FAO, 1998). Inmediatamente después de la muerte, éste experimenta una serie de cambios sensoriales, autolíticos, químicos y microbiológicos, por lo que su consumo puede convertirse en un riesgo para la salud pública, al ser un vehículo potencial de microorganismos

patógenos (FAO, 1998; Dávalos et al., 2005).

Las bacterias patógenas asociadas al pescado y derivados se pueden categorizar en: a) bacterias autóctonas que pertenecen a la microbiota natural del pescado (*Clostridium botulinum*, *Vibrio* spp., *Aeromonas hydrophila*) b) bacterias entéricas (no autóctonas) que están presentes debido a la contaminación fecal (*Salmonella* spp., *Shigella* spp., *E. coli*, y *Staphylococcus aureus*); y c) bacterias por contaminación durante el procesamiento, almacenamiento o preparación previa al consumo (*Bacillus cereus*, *L. monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Clostridium botulinum*, y *Salmonella* spp.) (Ghanbari y Jami, 2013). A fin de mantener la calidad del pescado, inocuidad, propiedades nutricionales, reducir el deterioro, desperdicios y pérdidas, se hace necesario realizar prácticas higiénicas adecuadas en las actividades de toda la cadena alimentaria, así que la microbiota; y los riesgos a la salud del pescado dependerán principalmente de factores, tales como las condiciones sanitarias en el ambiente del alimento, propiedades y calidad microbiológica de cualquier ingrediente adicionado y condiciones de higiene en el procesado, manipulación, almacenamiento y distribución (FAO, 2016).

Cabe destacar que a lo largo del tiempo se han desarrollado diferentes procesos para la conservación del pescado que contribuyen a la inocuidad, reducen el deterioro, alargan su vida útil, dan valor agregado e influyen en las propiedades sensoriales para su distribución y comercialización alrededor del mundo; entre éstos se encuentran la reducción de la temperatura (en-

friamiento, refrigeración y congelación), tratamiento térmico (enlatado, cocción y ahumado), reducción del agua disponible (secado, salazón, ahumado) y reducción de pH (escabechado, fermentación) (Dávalos et al., 2005; FAO, 2016; Silva et al., 2017). Además, también se ha hecho una búsqueda progresiva de la calidad nutricional, sensorial, e inocuidad de los alimentos, y de la disminución de desperdicios (FAO, 2016), desarrollando y estableciendo medidas de higiene, directrices, códigos, normas y certificaciones, tales como el British Retail Consortium (BRC), Safe Quality Food (SQF), ISO 22000, Global G.A.P, *Codex Alimentarius* entre otras, para mejorar la producción, inocuidad y comercialización de alimentos, en específico de los productos de la pesca.

Bioconservación de alimentos y pescado

En los últimos años la tendencia hacia el consumo de alimentos saludables y mínimamente procesados se ha incrementado. El consumidor demanda productos frescos, nutritivos y con ingredientes naturales que conserven sus propiedades organolépticas. Por tanto, la producción e industria de alimentos se enfoca a que los productos experimenten lo menos posible procesos de deterioro y extiendan su vida de anaquel a través de buenas prácticas de higiene, manufactura, control de procesos, sistemas, y nula presencia de microorganismos que alteren las propiedades fisicoquímicas, sensoriales del alimento y sean un riesgo a la salud (Clavijo et al., 2016).

La bioconservación se define como el aumento de la vida de anaquel y seguridad de un alimento a través del uso de microbiota natural,

controlada, y sus compuestos antimicrobianos (Vásquez *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010; Fuente y Barboza, 2010). Las BAL presentan un potencial alto para su uso en procesos de producción y bioconservación de alimentos, debido a su seguridad en su consumo (Generally Recognized As Safe-GRAS); que durante su almacenamiento dominan naturalmente la microbiota del alimento, y contribuyen a las características organolépticas (aroma, sabor, textura) y nutricionales (Huertas, 2010, Ramírez *et al.*, 2011; Ghanbari y Jami, 2013; Heredia *et al.*, 2017). Las BAL (Cuadro 1) están ampliamente distribuidas en la naturaleza y presentan características que las describen como Gram positivas, no formadoras de esporas, no móviles, oxidasa y catalasa negativas, con forma de cocos o bacilos, microaerófilos o anaerobios facultativos; su ADN presenta una composición de 55 mol% G+C (Huertas, 2010, Ramírez *et al.*, 2011; Ghanbari y Jami, 2013; Heredia *et al.*, 2017), además de capacidad de fermentar carbohidratos produciendo principalmente ácido láctico (homo fermentativas), o ácido láctico, acético, propiónico, CO₂, etanol (hetero fermentativas). Estas bacterias pueden sintetizar metabolitos como exopolisacáridos, acetoina, diacetilo, H₂O₂ y péptidos de origen ribosomal con actividad antimicrobiana denominados bacteriocinas, las cuales actúan específicamente en la membrana celular de bacterias formando poros y provocando la apoptosis; por tanto, las BAL y metabolitos están siendo ampliamente utilizadas en la producción de alimentos debido a su estabilidad en condiciones de procesamiento (pH, temperatura, salinidad, atmósfera de empaque), ya sea de manera aislada o en combinación con tratamientos fisicoquímicos, con bajas concentraciones de conservadores químicos naturales o tradicionales, con la finalidad de prolongar la vida de anaquel, conservar la calidad nutricional, contribuir a características organolépticas y calidad microbiológica del alimento contra microorganismos patógenos y responsables del deterioro (Vásquez *et al.*, 2009; García *et al.*, 2010; Fuente y Barboza, 2010; Huertas, 2010; Ghanbari y Jami, 2013; Heredia *et al.*, 2017).

Como ya se mencionó, la calidad del pescado depende de las prácticas pecuarias pesqueras y acuícolas, de

las condiciones de manufactura y almacenamiento, ya que representan un excelente medio para el crecimiento microbiano patógeno responsable del deterioro, disminuyendo la vida de anaquel con cambios en la acidez, decoloración, producción de gas y pH, así como ser la causa de diferentes ETA (Vásquez *et al.*, 2009; Fuente y Barboza, 2010).

El interés del uso de las BAL en la preservación del alimento es debido al efecto antimicrobiano de los ácidos orgánicos sintetizados que provocan la disminución del pH y la generación de otros compuestos de naturaleza proteica, tales como las bacteriocinas, las cuales son inactivadas por enzimas proteolíticas del tracto gastrointestinal, no son tóxicas para animales de laboratorio y generalmente son no inmunogénicas, inactivas contra células eucariotas y termo resistentes conservando su actividad antimicrobiana después de tratamientos térmicos, como la pasteurización y esterilización (Rojas y Vargas, 2008).

El proceso de bioconservación mediante las BAL puede ser desarrollado en alimentos y específicamente en pescado a través de cuatro vías: Añadiendo un cultivo puro viable de BAL generadoras de bacteriocina; Incorporando BAL mesófilas como una protección contra el abuso de temperatura (métodos

denominados *in situ* de biopreservación mediante la inoculación del sistema alimenticio con cepa productora de bacteriocina bajo condiciones favorables de producción); también añadiendo preparaciones de bacteriocina (extracto crudo), licor fermentado o concentrados del crecimiento de BAL productoras de bacteriocina; y a través de la incorporación de bacteriocinas puras o parcialmente puras producidas por BAL. Estas dos últimas son denominadas metodologías *ex situ*, donde la bacteriocina es producida fuera del alimento en condiciones controladas para posteriormente aplicarla al alimento (Vásquez *et al.*, 2009). Se han reportado diferentes investigaciones alrededor del mundo del uso de BAL y sus metabolitos en la conservación de alimentos cárnicos procesados, por ejemplo, el pescado. Kim *et al.* (1994) analizó el tratamiento de filetes de bagre con acetato de sodio (AS) y sorbato de potasio (SP), con cultivo láctico

Cuadro 1. BAL y bacteriocinas producidas (Huertas,2010; Heredia *et al.*, 2017)

Microorganismo	Bacteriocina	Metabolismo de carbohidratos
<i>L. lactis</i>	Nisina	Homo fermentativo
<i>L. sakei</i>	Sakacina	Hetero fermentativo
<i>L. curvatus</i>	Curvaticina	Homo fermentativo
<i>P. acidilactici</i>	Pediocina	Homo fermentativo
<i>Ent. faecium</i> <i>Ent. faecalis</i>	Enterocina	Homo fermentativo
<i>L. mesenteroides</i>	Mesenterocina	Hetero fermentativo
<i>L. johnsonii</i>	Lactacina	Homo fermentativo

(*Lactococcus lactis* spp. *Cremonis*) a 4 °C, en los recuentos de Gram negativas, el pH y la evaluación sensorial de los filetes en el tiempo, reportando que el tratamiento con la combinación de 0.50% de AS, 0.25% de SP con 2.50% de cultivo láctico y, también, de 0.50 a 1.0% de AS, únicamente inhibió al 100% el crecimiento durante 6 d a 4 °C. Después de 12 d, la cuenta microbiana con este tratamiento y el 1.0% de AS aumentó ~ 1.3 y 1.2 ciclos logarítmicos, respectivamente. Indicando que el efecto antimicrobiano no parece deberse a valores de pH. Mientras que la combinación de 0.50% AS y 0.25% SP con 2.50% cultivo láctico, o, 1.0% AS, únicamente mejoró el olor y apariencia del bagre durante 13 d de almacén. Salazar et al. (2011) estudió el efecto de extractos antimicrobianos obtenidos a partir de cultivos individuales y mixtos de BAL (*Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilacti* y *Leuconostoc mesenteroides*) por inmersión de filetes de tilapia frescos refrigerados empacados al vacío con la finalidad de reducir la carga microbiana, con lo cual logró aumentar la vida útil y calidad del producto por inhibición de bacterias deteriorativas, reflejando el potencial que tiene el uso de este tipo de extractos como bioconservantes y sustitutos de conservantes químicos además de la comercialización global de pescado fresco y de productos empacados. Por último, Montalvo et al. (2016) evaluaron el efecto del tiempo de impregnación y de las cepas *Lactobacillus plantarum* y *L. acidophilus* en los cambios de la textura de los filetes de tilapia durante el almacenamiento a 30 d a temperaturas de refrigeración; indicando que el ablandamiento de los filetes de tilapia durante el almacenamiento refrigerado a 5 °C se redujo por bioconservación con *Lactobacillus plantarum* concluyendo que las BAL permiten mantener la textura de los filetes por más tiempo, retardando la degradación de tejidos a bajas temperaturas con respecto a la muestra control.

El uso de metabolitos de BAL en productos cárnicos frescos se deben considerar varios factores y que pueden interferir con la actividad de la bacteriocina, por ejemplo, la inactivación de las bacteriocinas por las proteasas endógenas de la carne y la adsorción de las bacteriocinas a la carne o a partículas lipídicas. También pueden interferir cambios en la matriz alimentaria que incluyen la degradación de proteínas, cambios en la microbiota durante procesos de maduración, aumento de la población microbiana en la carne por contaminaciones exógenas, entre otros (Vásquez et al., 2009). Así como variables tecnológicas de cultivo y estandarización de BAL y metabolitos que pueden elevar costos de producción y su uso

en procesos de bioconservación (Vásquez et al., 2009). Por lo tanto, la aplicación de la biopreservación debe ser vista como acciones complementarias a prácticas adecuadas de higiene y nunca como sustituto de dichas prácticas en procesos de manipulación, procesamiento, almacenamiento y distribución de productos cárnicos. Además estos compuestos no son considerados como antimicrobianos e inhibidores independientes o únicos ya que su actuar es de manera sinérgica con otros métodos de preservación que involucren tratamientos físicos como el calentamiento, congelación, refrigeración, altas presiones hidrostáticas, radiaciones ionizantes, ozono, ultrasonido entre otros o uso de conservadores químicos cuyos efectos combinados (pH, temperatura y disponibilidad de oxígeno) contribuyan a conservar el alimento (Vásquez et al., 2009; Ghanbari y Jami, 2013).

Ensilados

El ensilado es considerado un método de conservación de alimentos, en los cuales se incluye al pescado. Este proceso de conservación se realiza por incorporación de ácidos orgánicos, inorgánicos, o ambos al pescado (ensilado químico) o por fermentación (ensilado biológico) siendo más utilizado este último por facilidad de implementación, mantenimiento, economía y seguridad al elaborarlos (Ramírez et al., 2011). Los ensilados de pescado son productos semilíquidos pastosos de naturaleza proteínica de alto valor biológico y digestibilidad elaborados a partir de pescado entero o de los residuos de la industria pesquera, están basados en la fermentación por BAL y destinados a la alimentación animal o como ingredientes alimenticios además de reducir el impacto ambiental derivado de actividades de la pesca, acuicultura y procesamiento (cabezas, espinas, cola, piel y vísceras) (Ramírez et al., 2011; Llanes et al., 2011; Fernández et al., 2013). En procesos de elaboración de ensilados se han usado distintas cepas de BAL principalmente de metabolismo homofermentativo como *Lactobacillus acidophilus*, *L. Plantarum*, *Enterococcus faecium*, *Streptococcus thermophilus*, *Pediococcus* spp., entre otras, así como materiales fuente de carbohidratos de elevada composición de azúcares, tales como la melaza, miel entre otros, a fin de generar las condiciones ácidas del producto (Llanes et al., 2011; Fernández et al., 2013). Durante el ensilado se generan cambios de pH activándose enzimas proteolíticas que alteran las características intrínsecas del pescado, inhiben el desarrollo de bacterias del deterioro y carácter patógeno, dando lugar a un producto inocuo, nutritivo y de larga conservación a temperatura ambiente (Fernández et al., 2013).

CONCLUSIONES

Las ETA son consideradas un reto importante en salud pública alrededor del mundo debido a su alta incidencia y mortalidad, principalmente en niños. Éstas presentan diversos agentes causales siendo los de origen biológico, principalmente bacterias las frecuentemente implicadas. El pescado es considerado un alimento altamente nutritivo para el ser humano, pero es muy perecedero, de fácil contaminación y deterioro durante su manipulación y procesamiento, convirtiéndose en un vehículo potencial de diversas ETA comprometiendo así la salud del consumidor. El proceso de bioconservación surge como alternativa al uso de sustancias químicas en la generación y conservación de alimentos. Las BAL se consideran como opción en la producción y procesos de conservación de alimentos, contribuyendo en las propiedades sensoriales, nutricionales y de inocuidad; debido a la síntesis de diversos metabolitos donde se incluyen ácidos orgánicos, bacteriocinas, entre otros, con efecto antimicrobiano contra agentes patógenos y del deterioro. Los procesos de bioconservación de alimentos mediante el uso de BAL y metabolitos, aún sigue en estudio, y requieren mayor investigación sobre la estabilidad y efectividad en los distintos procesos de producción de alimentos, principalmente en cárnicos incluyendo el pescado; además de que su uso debe estar complementado y no sustituir procedimientos de higiene en la elaboración y conservación de alimentos.

LITERATURA CITADA

- deterioro de jugo (naranja-mandarina) mínimamente procesado para su bioconservación. Revista alimentos hoy 24:156-167.
- Dávalos M.S.G., Diana R.Z.P., Bonifacio I.N., José J.T.A., Vázquez S. C., Elsa I.Q.R. 2005. Alimentos marinos: tipificación y proceso de almacenamiento. Revista Digital Universitaria 6: 1-11.
- FAO. 1998. El Pescado Fresco: Su Calidad y Cambios de su Calidad. FAO documento técnico de pesca 348. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Editado por H.H. Huss. Laboratorio Tecnológico. Ministerio de Pesca. Dinamarca. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/V7180S/v7180s00.htm#Contents>
- FAO. 2016. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2016. Contribución a la seguridad alimentaria y la nutrición para todos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación Roma. 224 pp.
- Fernández H.A.L., Tabera A., Agüeria D., Manca E. 2013. Obtaining, characterization microbiological and physico-chemical of anchovy biological silage (*Engraulis anchovy*). REDVET, 14: 1-14.
- Fuente S.N., Barboza C.J. 2010. Inocuidad y bioconservación de alimentos. Acta Universitaria 20: 43-52.
- García H.D., Carreño M., Alcayaga S., Ulloa J. 2012. Clinical and epidemiological description of severe outbreak of foodborne infection by *Salmonella Enteritidis*. Revista chilena de infectología 29:132-137.
- García P., Martínez B., Rodríguez L., Rodríguez A. 2010. Endolisinas Fagicas: ¿Nuevos bioconservantes para alimentos? CTC Alimentación 43: 9-14.
- García P., Rodríguez L., Rodríguez A., Martínez B. 2010. Food biopreservation: promising strategies using bacteriocins, bacteriophages and endolysins. Trends in Food Science & Technology 21: 373-382.
- Ghanbari M., Jami M. 2013. Lactic acid bacteria and their bacteriocins: a promising approach to seafood biopreservation. In Lactic acid bacteria-R & D for food, health and livestock purposes. InTech. Chapter 16.
- Heredia C.P., Hernández M.A., González C.A., Vallejo C.B. 2017. Bacteriocinas de bacterias ácido lácticas: mecanismos de acción y actividad antimicrobiana contra patógenos en quesos. Interciencia 42: 340-346.
- Huertas R.A.P. 2010. Bacterias ácido lácticas: papel funcional en los alimentos. Facultad de ciencias agropecuarias 8: 93-105.
- Kim C.R., Hearnberger J.O. 1994. Gram negative bacteria inhibition by lactic acid culture and food preservatives on catfish filets during refrigerated storage. Journal of Food Science 59:513-516.
- Kopper G., Calderón G., Scheneider S., Domínguez W., Gutiérrez G. 2009. Enfermedades transmitidas por alimentos y su impacto socioeconómico. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación (FAO). Disponible en: <http://bibliotecavirtual.corpmontana.com/bitstream/handle/123456789/671/M000381.pdf?sequence=5>
- Llanes J. E., Toledo J., Savón L., Gutiérrez O. 2011. Evaluation of fishing waste silage for the feeding of red tilapias (*Oreochromis mossambicus* × *O. niloticus*). Revista Cubana de Investigaciones Pesqueras 28:15-20.
- Montalvo R.C., Ramírez T.C., Bolívar E.G. 2016. Cambios estructurales de filetes de tilapia bioconservados mediante impregnación con bacterias lácticas/structural changes of tilapia biopreserved filets with lactic acid bacteria. Vitae 23: S345.
- 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 2:1-16
- Rojas C., Vargas A.P. 2008. Bacteriocinas: sustituto de preservantes tradicionales en la industria alimentaria. Revista Tecnología en Marcha 21: 9-16.
- Salazar S., Uribe E., Aguilar C., Klotz B. 2011. Bioconservación de pescado fresco empacado al vacío mediante la utilización de extractos antimicrobianos de bacterias ácido lácticas. Alimentos Hoy, 20: 8-22.
- Silva A.T.F., da Rocha P.G.G., da Fonseca Filho L.B., da Costa C. A., dos Santos Nascimento J.C., de Carvalho N.P.M. 2017. Alterações microbianas dos produtos de pescados curados: Revisão. PUBVET 11: 646-743.
- Vásquez S.M., Suárez H., Zapata S. 2009. Use of antimicrobial substances produced by acid lactic bacteria on meat conservation. Revista chilena de nutrición 36: 64-71.
- WHO. 2018. Foodborne diseases. Health topics. World Health Organization. Disponible en: http://www.who.int/topics/foodborne_diseases/en/

BIFUNCTIONALITY OF PROTEINS AND PEPTIDES OF MILK, PERSPECTIVES OF THEIR USE

BIFUNCIONALIDAD DE LAS PROTEÍNAS Y PÉPTIDOS DE LA LECHE, PERSPECTIVAS DE SU USO

Díaz-Ramírez, M.^{1*}; Calderón-Domínguez, G.²; Salgado-Cruz, M. de la P.³; Cruz-Monterrosa, R.G.¹;
Rayas-Amor, A.A.¹; García-Garibay, M.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ²Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Departamento de Ingeniería Bioquímica. Av. Wilfrido Massieu, Esq. Calzada Miguel Stampa s/n, Del. Gustavo A. Madero 07738 Ciudad de México, México. ³Instituto Politécnico Nacional, Cátedra CONACyT, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Av. Wilfrido Massieu, Esq. Calzada Miguel Stampa s/n, Del. Gustavo A. Madero 07738 Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia: mare131079@gmail.com

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to show some of the technological and biological properties of whey proteins and peptides reported in the literature.

Design/methodology/approach: A search was made through scientific publications in different scientific and academic databases such as Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Scholar, among others.

Results: The literature reports that whey peptides and proteins have important biological activities such as antimicrobial, anti-thrombotic, anti-hypertensive, anti-cancer and antioxidant. On the other hand, whey proteins have important technological characteristics that make them useful in the food industry.

Study limitations/implications: More studies are required in order to establish a dual function (biological-technological) of the whey peptides and proteins.

Findings/conclusions: Whey peptides and proteins can be an alternative of bifunctional use, taking advantage of their biological and technological activity in the development of functional foods for the prevention, treatment and control of common diseases in our country such as hypertension, type II diabetes and different types of cancer.

Keywords: whey peptides and proteins, biological activity, technological characteristics.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este trabajo fue mostrar algunas de las propiedades tecnológicas y biológicas de las proteínas y péptidos de suero de leche reportadas en la literatura.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una búsqueda a través de publicaciones científicas en diferentes bases de datos científicas y académicas como Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google académico entre otras.

Resultados: La literatura reporta que los péptidos y proteínas de suero de leche tienen actividades biológicas importantes como son la antimicrobiana, anti-trombótica, anti-hipertensiva, anticancerígena y antioxidante. Por otro lado, las proteínas del suero de leche cuentan con características tecnológicas importantes que las hacen útiles en la industria de los alimentos.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Se requieren de más estudios para poder establecer una función dual (biológica-tecnológica) de los péptidos y proteínas de suero de leche.

Hallazgos/conclusiones: Los péptidos y proteínas de suero de leche pueden ser una alternativa de uso bifuncional aprovechando su actividad biológica y tecnológica en el desarrollo de alimentos funcionales para la prevención, tratamiento y control de enfermedades comunes en nuestro país como la hipertensión, la diabetes tipo II y diferentes tipos de cáncer.

Palabras clave: péptidos, proteínas de suero de leche, actividad biológica, propiedades tecnológicas.

los péptidos, derivados de hidrolizar parcialmente las caseínas (Clare *et al.*, 2000). Contreras *et al.* (2000) hidrolizaron caseína con pepsina obteniendo péptidos con actividad anti-hipertensiva al inhibir la enzima convertidora de la angiotensina I (ECA). Estas proteínas tienen capacidad de formar emulsiones, poseen alta estabilidad al calor y alta hidratación por lo que generan la viscosidad deseada en los alimentos donde se usan (Modler, 1985). La β -lactoglobulina (β -Lg) es la proteína que se encuentra en mayor proporción en el suero de la leche, es soluble en agua, tiene baja estabilidad al calor pero es muy estable en medio ácido y a la acción enzimática (Hernández-Ledesma *et al.*, 2008), tiene la capacidad de formar emulsiones a nivel nanométrico (Ali *et al.*, 2016) y de formar geles con acción del calor (Holt, 2000); esta última característica la hace útil en alimentos donde se requiere ligar agua, como texturizador en carnes, productos de pescado y alimentos formulados (Chatterton *et al.*, 2006). Además tiene una elevada capacidad espumante que podría potenciar su uso como sustituto de la albúmina de huevo en una amplia variedad de alimentos (Foegeding *et al.*, 2006). Por otro lado, se han hallado diferentes péptidos de la β -Lg con actividad inhibidora de la ECA (Pihlanto-Leppälä *et al.*, 2000) actividad antioxidante (Hernández-Ledesma *et al.*, 2005) y actividad antimicrobiana (Biziulevicius *et al.*, 2006), por lo tanto sus hidrolizados podrían tener una función tecnológica y biológica con aplicaciones potenciales en la industria de los alimentos, por lo que se requieren más estudios al respecto.

La α -lacto albúmina, es la segunda proteína presente en el suero de la

INTRODUCCIÓN

La leche es uno de los alimentos más consumidos en México, tanto en su forma natural como en productos derivados (queso, yogur, cajeta, mantequilla), además se incluye en la elaboración de otros alimentos como helados y productos de panificación debido, en parte, a que aprovechan las propiedades tecnológicas de sus proteínas. Dentro de los atributos tecnológicos de estas proteínas, se encuentra su capacidad de formar espumas, geles, captación de agua, así como su habilidad de formar emulsiones dada su naturaleza anfífilica. El contenido total de proteínas en la leche es de alrededor del 3.5% (Agudelo Gómez y Bedoya Mejía, 2005), siendo junto con la grasa el tercer componente mayoritario después del agua y de la lactosa; y las caseínas (α_s , β , κ y γ), son las proteínas que se encuentran en mayor proporción (80%), seguidas de las proteínas solubles en el suero lácteo (20%) (β -lactoglobulina, α -lacto albúmina, la albúmina de suero bovino, lactoferrina, entre otras) (Badui, 2013). A continuación se muestran algunos de los atributos tecnológicos y actividades biológicas de algunas de las proteínas de leche más importantes y que han sido reportadas en la literatura.

Las caseínas de la leche se pueden clasificar en cuatro fracciones importantes, la α_s , β , κ y γ . Éstas tienen un valor biológico importante ya que contienen aminoácidos esenciales en su estructura (Agudelo Gómez y Bedoya Mejía, 2005), además de la actividad antimicrobiana y anti-trombótica a partir de

leche, tiene capacidad emulsionante y espumante (Jambrak et al., 2010). Contiene aminoácidos esenciales disponibles y alta afinidad por minerales como el calcio y magnesio. Debido a su similitud con la proteína presente en la leche humana su uso ha sido muy amplio en la elaboración de formulas lácteas para bebés (Chatterton et al., 2006). Dentro de las actividades biológicas asociadas a esta proteína se encuentra su actividad antioxidante (Hernández-Ledesma et al., 2005) entre otras. Además, péptidos derivados de la hidrólisis de la α -lactoalbúmina tienen actividad antihipertensiva (Mullally et al., 1996), actividad anticancerígena (Svensson et al., 2003), antimicrobiana (Pellegrini et al., 1999) con funciones en el manejo de estrés y sueño (Markus et al., 2000; Markus et al., 2002; Minet et al., 2004).

La albúmina de suero bovino (BSA) al igual que las proteínas anteriores, contiene en su estructura aminoácidos esenciales. Cuenta con un gran potencial de uso en la industria de los alimentos ya que presenta atributos tecnológicos, tales como la capacidad de formar geles (Matsudomi et al., 1991), espumas y emulsiones (Kato et al., 1983). Se ha reportado que esta proteína es una fuente de péptidos con actividad biológica relacionada con la actividad antihipertensiva y recientemente como inhibidora de la renina y de la enzima DPP-IV (Lafarga, et al., 2016), las cuales juegan un papel clave en el tratamiento de la hipertensión y la diabetes tipo II. Por otro lado posee la capacidad de reducir la absorción del colesterol, quelar metales pesados y es agonista opioide (actúa sobre los receptores opioides y favorece la analgesia) (Grandison y Lewis, 1996).

La lactoferrina, aun cuando se encuentra en menor proporción en el suero de leche, ha demostrado actividades biológicas importantes, tales como la antimicrobiana, antiviral, antioxidante, inmunomoduladora, modulación del crecimiento y adhesión celular a superficies, además de la inhibición de varios compuestos lipopolisacáridos y glicosaminoaglicanos (Satish et al., 2015). Esta proteína contiene fragmentos ricos en Arginina llamados lactoferrinas, los cuales se obtienen por la hidrólisis con pepsina de la proteína y tienen actividad antiparasitaria, antimicrobiana y antiviral (Singh et al., 2009). Además, se ha encontrado que inhibe significativamente la carcinogénesis en colon, esófago, pulmones y vejiga en ratas cuando se agrega en los estados post iniciales (Tsuda et al., 2002) y que nanopartículas sólidas de lípidos conjugadas con lactoferrina portando rifampicina (un antibiótico bactericida) han sido utilizadas para mejorar la

incorporación de este fármaco a los pulmones (Satish et al., 2015.). Aplicaciones comerciales utilizando lactoferrina bovina y sus péptidos parcialmente digeridos están apareciendo como nutracéuticos en fórmulas para infantes, suplementos para la salud, productos de cuidado bucal y alimento para animales. Sus propiedades antioxidantes están siendo utilizadas en cosméticos y es potencialmente útil para usarse como ingrediente en comidas funcionales (Singh et al., 2009).

CONCLUSIONES

Las proteínas de leche y sus péptidos han demostrado actividades biológicas que pueden coadyuvar a la prevención y control de enfermedades muy comunes tales como la hipertensión, la diabetes tipo II y diferentes tipos de cáncer. Las proteínas nativas tienen atributos tecnológicos como la capacidad de formar espumas, geles, emulsiones, captación de agua e incremento de la viscosidad que las hacen muy útiles en la elaboración de alimentos a nivel industrial. Los hidrolizados que contienen los péptidos derivados de hidrolizar estas proteínas pueden ser una alternativa de uso bifuncional aprovechando su actividad biológica; sin embargo, se requieren más estudios sobre sus atributos tecnológicos para lograr este objetivo.

LITERATURA CITADA

- Agudelo-Gómez D.A., Bedoya-Mejía O. 2005. Composición nutricional de la leche de ganado vacuno. Revista Lasallista de investigación, 2(1).
- Ali A., Mekhloufi G., Huang N., Agnely F. 2016. β -lactoglobulin stabilized nanemulsions—Formulation and process factors affecting droplet size and nanoemulsion stability. International Journal of Pharmaceutics 500(1-2): 291-304.
- Badui-Dergal S. 2013. Química de Los Alimentos. Quinta Edición. México. 611-638.
- Biziulevičius G. A., Kislukhina O. V., Kazlauskaitė J., Žukaitė V. 2006. Food-protein enzymatic hydrolysates possess both antimicrobial and immunostimulatory activities: a 'cause and effect' theory of bifunctionality. FEMS Immunology & Medical Microbiology 46(1): 131-138.
- Chatterton D.E., Smithers G., Roupas P., Brodkorb A. 2006. Bioactivity of β -lactoglobulin and α -lactalbumin—Technological implications for processing. International Dairy Journal 16(11): 1229-1240.
- Clare D.A., Swaisgood H.E. 2000. Bioactive milk peptides: a prospectus. Journal of Dairy Science, 83(6): 1187-1195.
- Foegeding E.A., Luck P.J., Davis J.P. 2006. Factors determining the physical properties of protein foams. Food Hydrocolloids 20(2-3): 284-292.
- Grandison A.S.L. 1996. Separation processes in the food and biotechnology industries. CRC Press.
- Hernández-Ledesma B., Dávalos A., Bartolomé B., Amigo L. 2005. Preparation of antioxidant enzymatic hydrolysates from

- α -lactalbumin and β -lactoglobulin. Identification of active peptides by HPLC-MS/MS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(3), 588-593.
- Jambrak A.R., Mason T.J., Lelas V., Krešić G. 2010. Ultrasonic effect on physicochemical and functional properties of α -lactalbumin. *LWT-Food Science and Technology* 43(2): 254-262.
- Kato A., Osako Y., Matsudomi N., Kobayashi K. 1983. Changes in the emulsifying and foaming properties of proteins during heat denaturation. *Agricultural and Biological Chemistry* 47(1): 33-37.
- Lafarga T., Aluko R.E., Rai D.K., O'Connor P., Hayes M. 2016. Identification of bioactive peptides from a papain hydrolysate of bovine serum albumin and assessment of an antihypertensive effect in spontaneously hypertensive rats. *Food Research International* 81: 91-99.
- Markus C.R., Olivier B., de Haan E.H. 2002. Whey protein rich in α -lactalbumin increases the ratio of plasma tryptophan to the sum of the other large neutral amino acids and improves cognitive performance in stress-vulnerable subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition* 75(6): 1051-1056.
- Markus C.R. 2000. The bovine protein alpha-lactalbumin increases the plasma Trp/LNAA, and in vulnerable subjects it raises brain serotonin activity, reduced cortisol and improves mood under stress. *American Journal of Clinical Nutrition* 71: 1536-1544.
- Matsudomi N., Rector D., Kinsella, J.E. 1991. Gelation of bovine serum albumin and β -lactoglobulin; effects of pH, salts and thiol reagents. *Food Chemistry* 40(1): 55-69.
- Minet-Ringuet J., Le Ruyet P.M., Tome D., Even P.C. 2004. A tryptophan-rich protein diet efficiently restores sleep after food deprivation in the rat. *Behavioural Brain Research* 152(2): 335-340.
- Modler H.W. 1985. Functional Properties of Nonfat Dairy Ingredients-A Review. Modification of Products Containing Casein1, 2. *Journal of Dairy Science* 68(9): 2195-2205.
- Mullally M.M., Meisel H., Fitzgerald R.J. 1996. Synthetic Peptides Corresponding to a-Lactalbumin and b-Lactoglobulin Sequences with Angiotensin-1-Converting Enzyme Inhibitory Activity. *Biological Chemistry-Hoppe Seyler* 377(4): 259-260.
- Pellegrini A., Thomas U., Bramaz N., Hunziker P., von Fellenberg R. 1999. Isolation and identification of three bactericidal domains in the bovine α -lactalbumin molecule. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects* 1426(3): 439-448.
- Pihlanto-Leppälä A. 2000. Bioactive peptides derived from bovine whey proteins: opioid and ace-inhibitory peptides. *Trends in Food Science & Technology*, 11(9-10): 347-356.
- Satish S., Vishnoo D., Vandana S. 2015. Assessment of lactoferrin-conjugated solid lipid nanoparticles for efficient targeting to the lung. *Prog Biomater* 4, 46.
- Singh H., Boland M., Thompson A. 2009. Milk proteins, from expression to food. Ed. Academic press. E.U: 229-230.
- Svensson M., Mossberg A.K., Pettersson J., Linse S., Svanborg C. 2003. Lipids as cofactors in protein folding: Stereo-specific lipid-protein interactions are required to form HAMLET (human α -lactalbumin made lethal to tumor cells). *Protein Science* 12(12): 2805-2814.
- Tsuda H., Sekine K., Fujita K., Ligo M. 2002. Cancer prevention by bovine lactoferrin and underlying mechanisms —a review of experimental and clinical studies. *Biochemistry and cell biology* 80(1): 131-6.



EFFECT OF THE DIET TYPE ON THE COMPOSITION OF FATTY ACIDS IN COW MILK

EFFECTO DEL TIPO DE ALIMENTACIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS EN LECHE DE VACA

Morales-Almaráz, E.^{1*}; Domínguez-Vara, I.A.¹; Mejía-Urbe, L.A.¹; Cruz-Monterrosa, R.G.²; Jiménez-Guzmán, J.²; Vieyra-Alberto, R.³

¹Universidad Autónoma del Estado de México, Departamento de Nutrición Animal, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Instituto Literario 100. CP. 50000. Toluca, Estado de México.

²Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Ciencias de la Alimentación. Unidad Lerma. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ³Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo Área Académica de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Instituto de Ciencias Agropecuarias.

*Autor de correspondencia: emoralesa@uaemex.mx

ABSTRACT

Objective: To review the effect of the diet type on the composition of fatty acids in cow milk.

Design/methodology/approach: The present study consisted in conducting a search of scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the keywords: fatty acids, polyunsaturated, origin, diet, oils, fats.

Results: Cow milk contains beneficial unsaturated fatty acids for the consumer. Rumenic acid (CLA, C18:2 c9t11) has the potential of reducing carcinogenesis, and preventing atherosclerosis and diabetes. Food products from ruminants are naturally rich in CLA. Animal diet manipulation has been the main focus to modify the fatty acids profile and to increase the content of C18:2 c9t11 in milk.

Study limitations/implications: Fat in milk typically contains a high proportion of saturated (70-75%), monounsaturated (20-25%) and small amounts of polyunsaturated fatty acids (5%); less than 40% of saturated fatty acids are considered unhealthy; however, cardiovascular diseases may be reduced by the intake of desirable fatty acids derived from ruminant products.

Findings/conclusions: The metabolism of lipids in the diet of ruminants plays an important role. All the sources of variation that influence the lipid concentration in the plant and the diet will influence the contribution of the substrate to the rumen and its hydrogenation process, and therefore, the lipid profile of the milk.

Keywords: fatty acids, polyunsaturated, origin, food, oils, fats.

RESUMEN

Objetivo: Realizar una revisión sobre el efecto del tipo de alimentación sobre la composición de ácidos grasos en leche de vaca.

Diseño/metodología/aproximación: El presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect con las palabras clave: ácidos grasos, poliinsaturados, origen, alimentación, aceites, grasas.

Resultados: La leche de vaca contiene ácidos grasos insaturados benéficos para el consumidor. El ácido ruménico (CLA, C18:2 c9t11), ha sido identificado como un ácido graso capaz de reducir la carcinogénesis, prevenir la aterosclerosis y la diabetes. Los productos alimenticios provenientes de los rumiantes son naturalmente ricos en CLA. La manipulación de la dieta del animal ha sido el foco para modificar el perfil de ácidos grasos e incrementar el contenido de C18:2 c9t11 en leche.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La grasa en leche típicamente contiene una alta proporción de ácidos grasos saturados (70-75%), monoinsaturados (20-25%) y cantidades pequeñas de ácidos grasos poliinsaturados (5%); menos de 40% de los ácidos grasos saturados son considerados poco saludables; no obstante, las enfermedades cardiovasculares podrían ser reducidas por el consumo de ácidos grasos deseables en los productos de rumiantes.

Hallazgos/conclusiones: El metabolismo de los lípidos en la dieta del rumiante juega un importante papel. Todas las fuentes de variación que influyan en la concentración de lípidos de la planta y de la dieta, influirán en el aporte del sustrato para el rumen y en su proceso de hidrogenación, y por tanto el perfil lipídico de la leche.

Palabras clave: ácidos grasos, poliinsaturados, origen, alimentación, aceites, grasas.

investigadores, en su esfuerzo por incrementar la concentración de AG deseables en los productos de rumiantes, mediante el desarrollo de estrategias de alimentación que alteren la composición de la grasa de la leche, disminuyendo su contenido de AGS, particularmente de ácidos grasos de cadena media C12:0, C14:0 y C16:0, e incrementando las concentraciones de ácido oleico (C18:1 cis-9), y otros AGPI de la categoría omega-3 y CLA (Ácido linoleico conjugado), con el fin de generar un producto más compatible con las recomendaciones actuales para mejorar la salud humana a largo plazo (Dewhurst *et al.*, 2006). En la leche de vaca se encuentran AGPI benéficos al consumidor, tales como el CLA (por sus siglas en inglés) cuyo principal isómero C18:2 c9 t11 (llamado ácido ruménico) ha sido identificado como un AG capaz de reducir la carcinogénesis, prevenir la aterosclerosis y la diabetes mellitus; y actúa como inmunomodulador en la reducción de la grasa corporal (Haro *et al.*, 2006). Los productos alimenticios provenientes de los rumiantes son naturalmente ricos en CLA, y su variación proporcional está estrechamente ligada a la dieta de los animales (Buccioni *et al.*, 2012).

Origen de los ácidos grasos de la leche

La composición de AG de la leche de los rumiantes generalmente no es el reflejo de la composición de los AG de su dieta, como en muchas otras especies.

Los AG están unidos al glicerol principalmente, forman los complejos tri, di y monoglicéridos. Se han definido como cada uno de los ácidos orgánicos monocarboxílicos, generalmente con un número elevado

INTRODUCCIÓN

La grasa de la leche y los productos lácteos contribuyen de modo importante al consumo de ácidos grasos (AG) y vitaminas en la dieta humana, y tiene un papel crítico en los atributos sensoriales de estos alimentos (Chilliard y Ferlay, 2004). Existe una apreciación del consumidor de que los productos de los rumiantes, tales como la leche, tienen un alto contenido de grasa y son considerados causantes de algunas enfermedades de humanos; en este sentido, en países desarrollados, el alto consumo de AG saturados está asociado con la leche y productos lácteos (Valsta *et al.*, 2005), lo cual ha contribuido a una imagen negativa para estos productos. La grasa en leche contiene alta proporción de AG saturados (AGS, 70-75%), monoinsaturados (20-25%) y cantidades pequeñas de AG poliinsaturados (AGPI, 5%); menos de 40% de los AGS son considerados poco saludables (Elgersma *et al.*, 2006).

Las enfermedades cardiovasculares podrían ser reducidas por el bajo consumo de AGS indeseables y por la alteración en el perfil de AG de la grasa consumida (Elgersma *et al.*, 2006), esto tiene la atención actual de los

de átomos de carbono. Los AG de cadena corta (<12 carbonos) son sintetizados en la glándula mamaria pero los AG de cadena larga y provienen en gran medida de la dieta.

Los lípidos de su dieta son alterados por el metabolismo de las bacterias en el rumen. En el rumen suceden dos importantes procesos consecutivos de los lípidos: la lipólisis y la biohidrogenación (BH). La lipólisis es la liberación de los AG del éster y la BH es la reducción del número de dobles enlaces y la saturación de hidrogeno en los carbonos en la cadena del AG. Los AG que escapan de la BH pueden llegar a la glándula mamaria y ser secretados en la leche (Bauman y Griinari, 2003).

Los isómeros del CLA presentes en la leche pueden tener dos orígenes, una mínima parte proviene de la isomerización del C18:2 c9c12 de la dieta que escapa de la BH ruminal y la gran mayoría se forma en la glándula mamaria por acción principalmente de la enzima $\Delta 9$ desaturasa utilizando el AG vaccénico (C18:1 t11) como sustrato. La producción del C18:2 c9 t11 y del C18: 1 t11 por los rumiantes se ha descrito detalladamente en la revisión de Buccioni et al. (2012).

El C18:1 t11 es un mayoritario AG trans de la grasa de la leche, constituye alrededor de 1.7% (rango: 0.4-4%) del total de AG; éste es un intermediario de la BH de los AGPI de 18 carbonos a C18:0 en el rumen y el mayor precursor del C18:2 c9 t11 en la grasa de la leche. El consumo del C18:1 t11 incrementa los niveles del C18:2 c9t11 en el suero sanguíneo en humanos, lo que sugiere la acción de la enzima $\Delta 9$ desaturasa sobre el C18:2 c9t11 (Turpeinen et al., 2002). La ingestión de C18:2 c9t11 por animales y el hombre no tiene efectos adversos con una intervención a largo plazo y puede en realidad ser beneficioso en la reducción de la grasa corporal y con efectos antiaterogénicos (Bhattacharya et al., 2006).

Las estrategias de alimentación animal

La manipulación de la dieta del animal ha sido el foco para modificar el perfil de ácidos grasos e incrementar el contenido de C18:2 cis-9 trans-11 en leche de vacas (Dhiman et al., 2000; Morales-Almaráz et al., 2010; Castro-Herández et al., 2014). El pastoreo de hierba (Loor et al., 2002; Kay et al., 2004; Morales-Almaráz et al., 2011), la suplementación con aceite de plantas y semillas (Vieyra-Alberto et al., 2017), y la suplementación con aceite de pescado (Abu-Ghazaleh et al., 2003) han demostrado

ser estrategias que tiene un efecto sustancial sobre el perfil lipídico de la leche. En el impacto de la nutrición sobre la composición de AG, juega un importante papel metabolismo de los lípidos de la dieta en el rumen (Palmquist et al., 2005), de tal forma que los efectos dietéticos pueden agruparse en tres categorías en función del método de acción que ejercen: Factores que proporcionan sustratos lipídicos para la BH en el rumen; Factores que alteran el medioambiente ruminal, y Factores que combinan sustratos lipídicos y modificación de la microbiota ruminal.

El pastoreo en la dieta del animal

La fracción de lípidos en las hojas de la hierba y pastos constituye entre el 30 y 100g kg⁻¹ MS, estando formada mayoritariamente por lípidos de los cloroplastos (Bauchart et al., 1984). Las fuentes de variación en la concentración de lípidos en la hierba son la especie de planta, estado de crecimiento, temperatura e intensidad de la luz (Hawke, 1973). De los AG presentes en pastos aproximadamente el 95% consiste en ácidos linolénico, linoleico y palmítico (C16:0) (Hawke, 1973), con una alta proporción (50-75 %) en forma de ácido linolénico (Elgersma et al., 2006).

Existen estudios que demuestran que rumiantes alimentados únicamente con pasto, los contenidos de CLA en leche de vaca son más altos que en donde se aportan dietas completas mezcladas (White et al., 2001; Kay et al., 2005; Bargo et al., 2006) o suplementando concentrados (Loor et al., 2002); así mismo, el efecto de la cantidad de pasto ofrecido o asignación de pasto (Loor et al., 2003) parece cambiar el contenido de ácidos grasos, y en particular, incrementar el nivel de CLA en la grasa de la leche del ganado vacuno. Vibart et al. (2008) observaron un aumento lineal ($P < 0.01$) de los AG C18:2 c9 t11 y linolénico en leche cuando en la dieta se aumentó el nivel de pasto de 0, 21, 32 hasta 41% del total de la ración; una tendencia similar observaron Morales-Almaráz et al. (2010) al alimentar vacas lecheras con dietas completas mezcladas, complementadas con 0, 6 y 12 h de pastoreo.

De manera general, todas las fuentes de variación que influyan en la concentración de lípidos de la planta y de sus ácidos grasos, tal como es el ácido linolénico predominante en el forraje, influirán en el aporte del sustrato para el rumen. De acuerdo con Elgersma et al. (2006), de tal forma que conocer la respuesta de los factores ambientales sobre la concentración y perfil de ácidos

grasos en el forraje asociado a prácticas de manejo basadas en el momento óptimo de aprovechamiento (corte o pastoreo) podrían ayudar al diseño de estrategias de manejo para lograr aumentar los precursores de ácidos grasos benéficos en los productos de rumiantes.

Utilización de forrajes conservados

La conservación del forraje, como heno o ensilado, afecta al contenido de ácido linolénico y de C18:2 cis-9 trans-11 en la grasa de la leche, como consecuencia de que en el forraje conservado disminuye la proporción de linolénico y aumenta la del palmítico (Noble *et al.*, 1974). Por lo tanto, la alimentación con forrajes frescos presenta un efecto positivo. Dewhurst y King (1998) estudiaron el efecto del ensilado sobre la composición de AG de la planta, donde el marchitamiento antes del ensilaje reduce el contenido total de ácidos grasos por alrededor del 30 %, con pérdidas del ácido linolénico del 40%. Estos autores sugieren que el proceso de ensilaje por sí mismo tiene poca influencia cuando se proporciona una buena compactación y sellado de los silos, reduciendo las pérdidas de AG debido a la lipólisis y oxidación durante el marchitamiento antes de la conservación como ensilaje. Lo anterior es una estrategia importante para manipular los precursores de C18:2 cis-9 trans-11 en leche (Elgersma *et al.*, 2006). Por otro lado, con la elaboración del heno se reducen los AG totales por encima del 50%, con las pérdidas más altas de ácido linolénico (Doreau y Poncet, 2000).

Vacas a las que se les ofreció forraje en forma de heno produjeron más ácido linolénico en leche que las vacas consumiendo ensilados, a pesar de tener aproximadamente la mitad del consumo de ácido linolénico (Dewhurst *et al.*, 2006). La transferencia aparente de ácido linolénico desde la dieta a leche incrementó de 3.3% para la dieta basada en ensilado de pasto a 17.2% para dietas basadas con heno de pasto (Dewhurst *et al.*, 2006). Para considerar transferencias o recuperaciones desde el alimento a la leche es necesario tener una adecuada información de la concentración de AG de los alimentos consumidos que pueden ser recuperados directamente en leche o bien para aquellos que sufren una BH y aquellos que son sintetizados *de novo*. Aunque la composición de AG de la leche ha sido evaluada en distintos estudios, comparando el pastoreo y dietas basadas en forrajes conservados como fuente de forraje en la TMR (White *et al.*, 2001; Bargo *et al.*, 2006), los resultados no son consistentes, además, el uso y efecto del pasto en nuevas estrategias de alimentación sobre la composición y perfil de AG de la leche requieren mejor comprensión.

Aceites o grasas

Suplementando a dietas de ganado lechero con AG específicos de cadena larga puede mejorar el efecto benéfico del consumo de pasto sobre el perfil de AG de la leche. Los suplementos de grasa, además de aceites de semillas, han involucrado un amplio rango de suplementos de grasa, incluyendo sebo y algunos productos comerciales como sales de calcio de ácidos grasos, de aceite de palma, sebo, aceite de soya (*Glycine max* L.), alto en ácido linoleico, y nuevas variedades de semilla de colza (*Brassica napus* L.) alta en ácido linolénico (Moate *et al.*, 2007).

El reemplazo parcial de cereales por suplementos de grasa o aceite, la cual tiene mayor concentración de energía que los suplementos basados en almidón, es una alternativa para incrementar el consumo de energía y de ácidos grasos de cadena larga en la grasa de la leche de vacas (Schroeder *et al.*, 2002). Cantidades moderadas de grasas saturadas tienden a aumentar la concentración de grasa de la leche en pequeña cantidad, los lípidos insaturados en grandes cantidades (>8%) decrecen en su mayoría un 1% a la grasa en leche, pero contribuye a mejorar la calidad de la grasa de la leche. Una ingesta elevada de AGPI por parte del animal se asocia a un incremento de las concentraciones de AG insaturados en la grasa de la leche y, en particular, del CLA (Chilliard y Ferlay, 2004); sin embargo, la presencia de AGPI inhibe la actividad y fermentación microbiana en el rumen y provoca una disminución de la digestibilidad de la fibra (Jenkins y Bridges, 2007) y la grasa en la leche (Chilliard y Ferlay, 2004).

La afectación del rendimiento productivo se debe a la interacción con los microorganismos del rumen. Para minimizar esta interacción, los lípidos incluidos a la dieta se pueden "proteger" mediante procedimientos físicos o químicos (Jenkins y Bridges, 2007). El aporte de lípidos en la dieta en forma de grasas protegidas permite incrementar los AG disponibles para la absorción intestinal sin afectar los microorganismos del rumen (Jenkins y Bridges, 2007). Según Chouinard *et al.* (2001), la liberación lenta de los AGI obtenidos a partir de los jabones cálcicos crean unas condiciones favorables para la acumulación de AG C18:1 trans y en consecuencia para

el incremento de la concentración de CLA en leche. Si bien, la manipulación de la dieta puede alterar perfil general de AG de la leche, como ya se ha expuesto, es importante mencionar que aun dentro del mismo hato con la misma alimentación, hay gran variabilidad entre vacas en el contenido de C18:2 cis-9 trans-11 en leche, y mientras la variación individual es considerable, el procesamiento de la leche parece tener escasa influencia en el contenido específico de este AG.

CONCLUSIONES

La alimentación de vacas con fuentes ricas en los AGPI, como linoleico y linolénico, ha demostrado el incremento de componentes funcionales como los AG C18:2 c9 t11 y del C18:1 t11 en la leche, no obstante, el desafío de la investigación es incrementar esos AG sin poner en riesgo la productividad y la salud de las vacas.

LITERATURA CITADA

- AbuGhazaleh A.A., Schingoethe D.J., Hippen A.R., Kalscheur E.K. 2003. Milk conjugated linoleic acid response to fish oil supplementation of diets differing in fatty acids profile. *J. Dairy Sci.* 86: 944-953.
- Bargo F., Delahoy J.E., Schroeder G.F., Baumgard L.H., Muller L.D. 2006. Supplementing total mixed rations with pasture increase the content of conjugated linoleic acid in milk. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131: 226-240.
- Bauchart D., Vérité R., Remon B. 1984. Long-chain fatty acid digestion in lactating cows fed fresh grass from spring to autumn. *Can. J. Anim. Sci.* 64(suppl): 330-331.
- Bauman D.E., Griinari J.M. 2003. Nutritional regulation of milk fat synthesis. *Ann. Rev. Nutr.*, 23:203-227.
- Bhattacharya A., Banu J., Rahman M., Causey J., Fernandes G. 2006. Biological effects of conjugated linoleic acids in health and disease. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 17:789-810.
- Buccioni A., Decandia M., Minieri S., Molle G., Cabiddu A. 2012. Lipid metabolism in the rumen: New insights on lipolysis and biohydrogenation with an emphasis on the role of endogenous plant factors. *Animal Feed Science and Technology*, 174:1-25.
- Castro-Hernández H., González-Martínez F.F., Domínguez-Vara I.A., Pinos-Rodríguez J.M., Morales-Almaráz E., Vieyra-Alberto R. 2014. Efecto del nivel de concentrado sobre el perfil de ácidos grasos de la leche de vacas Holstein en pastoreo. *Agrociencia* 48: 765-775.
- Chilliard Y., Ferlay A. 2004. Dietary lipids and forages interactions on cow and goat milk fatty acid composition and sensory properties. *Repr. Nutr. Dev.* 44: 467-492.
- Dewhurst R.J., King P.J. 1998. Effects of extended wilting, shading and chemical additives on the fatty acids in laboratory grass silages. *Grass Forage Sci.* 53: 219-224.
- Dewhurst R.J., Shingfield K.J., Lee M.R.F., Scollan N.D. 2006. Increasing the concentrations of beneficial polyunsaturated fatty acids in milk produced by dairy cows in high-forage systems. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131: 168-206.
- Dhiman T.R., Satter L.D., Pariza M.W., Galli M.P., Albright K., Tolosa M.X. 2000. Conjugated linoleic acid (CLA) content of milk from cows offered diets rich in linoleic and linolenic acid. *J. Dairy Sci.* 83: 1016-1027.
- Doreau M., Poncet C. 2000. Ruminant biohydrogenation of fatty acids originating from fresh or preserved grass. *Reprod. Nutr. Dev.* 40: 201.
- Elgersma A., Tamminga S., Ellen G. 2006. Modifying milk composition through forage. *Anim. Feed Sci. Technol.* 131: 207-225.
- Haro A.M., Artacho R., Cabrera-Vique C. 2006. Ácido linoleico conjugado: interés actual en nutrición humana. *Med Clin (Barc.)*, 127(13):508-515.
- Hawke J.C. 1973. Lipids. Chemistry and biochemistry of herbage. Butler GW, Bailey EW (Eds). London, UK., Academic Press. 213-263.
- Jenkins T.C., Bridges Jr. W.C. 2007. Protection of fatty acids against ruminal biohydrogenation in cattle. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 109:778-789.
- Kay J.K., Mackle T.R., Auldish M.J., Thompson N.A., Bauman D.E. 2004. Endogenous synthesis of cis-9, trans-11 conjugated linoleic acid in dairy cows fed fresh pasture. *J. Dairy Sci.* 87: 369-378.
- Kay J.K., Roche J.R., Kolver E.S., Thomson N.A., Baumgard L.H. 2005. A comparison between feeding systems (pasture and TMR) and the effect of vitamin E supplementation on plasma and milk fatty acid profiles in dairy cows. *J. Dairy Res.* 73: 322-332.
- Loor J.J., Herbein J.H., Polan C.E. 2002. Trans 18:1 and 18:2 isomers in blood plasma and milk fat of grazing cows fed a grain supplement containing solvent-extracted or mechanically extracted soybean meal. *J. Dairy Sci.*, 85:1197-1207.
- Loor J.J., Soriano F.D., Herbein J.H., Polan C.E. 2003. Grazing allowance after the morning or afternoon milking for lactating cows fed a total mixed ration (TMR) enhances trans11-18:1 and cis9,trans11- 18:2 (rumenic acid) in milk fat to different extents. *Anim. Feed Sci. Technol.* 109: 105-119.
- Moate P.J., Chalupa W., Boston R.C., Lean I.J. 2007. Milk fatty acids. I. Variation in the concentration of individual fatty acids in bovine milk." *J. Dairy Sci.* 90: 4730-4739.
- Morales-Almaráz E., Soldado A., González A., Martínez A., Domínguez I., De la Roza B., Vicente F. 2010. Improving the fatty acid profile of dairy cow milk by combining grazing with feeding on total mixed ration. *J. Dairy Res.* 77:225-230.
- Morales-Almaráz E., de la Roza-Delgado B., González A., Soldado A., Rodríguez M.L., Peláez M., Vicente F. 2011. Effect of feeding system on unsaturated fatty acid levels in milk of dairy cows. *Renewable Agric. Food Syst.* 26, 224-229.
- Noble R.C., Moore J.H., Harfoot C.G. 1974. Observations of the pattern of biohydrogenation of esterified and unesterified linoleic acid in the rumen. *Br. J. Nutr.* 31: 99-108.
- Palmquist D.L., Lock A.L., Shingfield K.J., Bauman D.E. 2005. Biosynthesis of conjugated linoleic acid in ruminants and humans. En: *Adv. Food Nutr. Res.* Taylor SL (Ed). Elsevier Academic Press, San Diego, CA. Vol. 50: 179-217.
- Schroeder G.F., Gagliostro G.A., Becu-Villalobos D., Lacau-Mengido I. 2002. Supplementation with partially hydrogenated oil in grazing dairy cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 85: 580-594.

- Turpeinen A.M., Mutanen M., Aro A., Salminen I., Basu S., Palmquist D.L., Griinari J.M. 2002. Bioconversion of vaccenic acid to conjugated linoleic acid in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 76:504-10.
- Valsta L.M., Tapanainen H., Männistö S. 2005. Meat fats in nutrition: a review. *Meat Sci.* 70: 525–530.
- Vibart R.E., Fellner V., Burns J.C., Huntington G.B., Green Jr. J.T. 2008. Performance of lactating dairy cows fed varying levels of total mixed ration and pasture. *J. Dairy Res.* 75: 471-480.
- Vieyra-Alberto R., Arriaga-Jordán C.M., Domínguez-Vara I.A., Bórquez-Gastelum J.L., Morales-Almaráz E. 2017. Efecto del aceite de soya sobre la concentración de los ácidos grasos vaccenico y ruménico en leche de vacas en pastoreo. *Agrociencia* 51: 299-313.
- White S.L., Bertrand J.A., Wade M.R., Washburn S.P., Green J.R., Jenkins T.C. 2001. Comparison of fatty acid content of milk from Jersey and Holstein cows in early lactation. *J. Dairy Sci.* 84: 2295-2301.



BIOCARBON PRODUCTION USING SOLID MATERIAL FROM THE AEROBIC-MICROBIOLOGICAL HYDROLISIS

GENERACIÓN DE BIOCARBÓN A PARTIR DEL MATERIAL SÓLIDO EN LA HIDRÓLISIS AERÓBICO-MICROBIOLÓGICA

Mathias Schlegel, M.¹; Bassel Ibrahim²; Kipping-Rössel, D.^{3*}; Ortiz-Laurel, H.⁴; Jozef Frasz⁵

¹Universität Rostock, Agrar-und Umweltwissenschaftliche Fakultät, 18059 Rostock, Justus-von-Liebig Weg 6b, Deutschland, mathias.schlegel@uni-rostock.de. ²Innovations-und Bildungszentrum e.V. Hohen Luckow, 18239 Hohen Luckow, Bützower Str. 1a, Deutschland, bassel.ibrahim@ibz-hl.de. ³Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí. Iturbide No. 73, Salinas de Hgo., S.L.P., C.P. 78600. México. ⁴Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba, km 348, Carr. Fed. Córdoba-Veracruz, Congregación Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz. 94946. México, ⁵Politechnika Poznanska, Katedra Nauk Ekonomicznych, 60-965 Poznan, Ul. Strzelecka 11, Polen, jozef.frasz@put.poznan.pl

*Autor de correspondencia: edietmar@colpos.mx

ABSTRACT

Objective: Exploring the effectiveness of two processing methods in sequential operation in order to increase the profitability of individual processes during biomass transformation and its wastes for obtaining other products.

Design/methodology/approach: Processes of hydrolysis and acidification are activated by the general process to obtain biogas, resulting in a highly acidic liquid biomass. The organic acids are removed through technical procedures to be utilized on other chemical processes. Leftover wastes contain few constituents able to be decomposed, and their appropriate disposal consumes resources, so they are processed through hydrothermal carbonization in order to obtain biocarbon.

Results: When vegetation biomass with high moisture content is exposed to high temperatures for hydrothermal carbonization, water evaporation takes place as well as a selective amount of some particles contained in the biomass. Leftover waste is a solid and hard material, with a high carbon concentration.

Study limitations/limitations: The technical process used to extract organic acids is slow, so the removal is partial and effectiveness is reduced.

Findings/conclusions: Integration of processes with sequential operation, where useful compounds are obtained and wastes produced from the first processing become raw material for the following process, originating hydrothermal carbonization, improve efficiency and attain financial profitability.

Keywords: innovation, carbonization, recycling, process wastes, plant biomass.

RESUMEN

Objetivo: Explorar la efectividad de dos procesamientos en operación secuencial para incrementar la rentabilidad de los procesos individuales en la transformación de la biomasa y sus residuos para la obtención de productos.

Diseño/metodología/aproximación: Se activan los procedimientos de hidrólisis y ácido génesis del proceso general para producir biogás, en la que se obtiene una biomasa líquida muy ácida. Se rescatan los ácidos orgánicos mediante procedimientos técnicos para su utilización en otros procesos químicos. Los residuos resultantes contienen escasos elementos factibles de degradar y su apropiada disposición consume recursos, por lo que son sometidos al proceso de carbonización hidrotérmica, para obtener biocarbón.

Resultados: La biomasa vegetal con alto contenido de humedad al ser expuesta a altas temperaturas para el proceso de carbonización hidrotérmica, genera evaporación de agua y una porción selectiva de algunas partículas contenidas en esa biomasa. El residuo final es un material sólido y duro, con alta concentración de carbón.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El proceso técnico de extraer los ácidos orgánicos es lento por lo que la separación es parcial y se reduce la efectividad.

Hallazgos/conclusiones: La integración de los procesamientos con el funcionamiento de manera secuencial, donde se obtiene compuestos útiles y se generan residuos del primer procesamiento se convierten en la materia prima del siguiente, derivando en la carbonización hidrotérmica, mejoran la eficiencia y alcanzan rentabilidad financiera.

Palabras clave: innovación, carbonización, reciclaje, residuos de proceso, biomasa vegetal.

aclarar que, la palabra "rentable" no significa totalmente que esa rentabilidad sea factor suficiente para la introducción del procesamiento en el mercado. Aunque puede ser que, su aplicación práctica sea más interesante, respecto al tipo de proceso, que igual, pueden avanzar en paralelo o en cadena, como sucede en la producción de biogás, donde además de éste se obtiene un biofertilizante del efluente, ya que cada uno por sí solo, no es rentable. En ese sentido, el propósito del presente trabajo es ofrecer un análisis de dos procesamientos, en los cuales, al conjuntar los valores particulares de cada uno de ellos, se logra la rentabilidad suficiente para su aplicación económica. Primeramente, se explora la factibilidad de un procesamiento a partir del cual se documenta sobre la generación de ácidos orgánicos a partir de una masa orgánica líquida. De esta etapa del procesamiento queda una masa restante. El segundo procesamiento, se refiere a la carbonización hidrotérmica, donde es posible utilizar esa masa restante como fuente de materia prima para la generación de "biocarbón".

MATERIALES Y MÉTODOS

La ruta a seguir para la degradación microbológica de la basura orgánica en forma líquida (alta concentración de agua), que provienen de las ciudades, de la cosecha de los cultivos o de otros procesos, es la degradación aeróbica. La degradación aeróbica puede ser dividida en cuatro fases (Schlegel *et al.*, 2013); la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis. La hidrólisis modifica los enlaces complejos del material inicial, por ejemplo, los hidratos de carbono, las proteínas y las grasas, en enlaces orgánicos simples, como; ácidos

INTRODUCCIÓN

La utilización de la biomasa ha originado un interés muy particular, que se ha convertido en un material cotidiano, y actualmente juega un papel de mayor jerarquía en lo que respecta a la protección del medio ambiente (Autorenkollektiv, 2007). Primeramente, conviene recalcar conceptos de actualidad que influyen en el proceso de la recolección del material biológico, así como de los métodos para su apropiada integración en un proceso de reciclado para su reutilización como un biomaterial. Los productos obtenidos del reciclaje pueden ofrecer un mayor potencial, que en esencia puede vincularse como un efecto compensatorio a través de la generación de combustible biogás, o de la producción de biocarbón, en respuesta a las perjudiciales emisiones de carbono.

Para dar fluidez a estas nuevas rutas sobre la reutilización de la biomasa, se desarrollan a lo largo del trayecto procesos simultáneos. Esto es común, ya que la biomasa (por ejemplo, restos de alimentos, residuos de la cosecha de cultivos) se convierte en materia prima, que puede seguir dos caminos para su reutilización. Ambos considerados procesamientos simultáneos, caracterizados por ser afines a crear una competencia, que al final se solucionará al seleccionarse un solo camino, en función de su efectividad. Aquí conviene

amínicos, azúcares y ácidos grasos. Las bacterias hidrolíticas participantes liberan durante el proceso enzimas, las cuales realizan la degradación de la materia inicial de una manera bioquímica. Los subproductos generados ahí son modificados en la siguiente fase; denominada acidogénesis, mediante la generación de ácidos, donde las bacterias fermentativas (generadores del ácido) se cambian en ácidos bajos grasos, así como de dióxido de carbono e hidrógeno, incluso se encuentran masas pequeñas de ácidos lácticos y de alcoholes. La composición de los productos generados en esta fase depende de la concentración resultante del hidrógeno, el cual es generado durante el desarrollo del proceso. En la tercera fase; acetogénesis, la generación del ácido cítrico modifica los productos debido a las bacterias acetogéneas en pre productos del biogás. En esta fase es muy importante la presión parcial del hidrógeno. Un valor demasiado alto evita por razones energéticas, la transformación de pre productos de la acetogénesis, con el resultado de que los ácidos orgánicos de cadenas largas se multipliquen y se interfiera con la generación de metano. Las bacterias de la acetogénesis (generadoras del ácido cítrico) tienen que vivir en una asociación con los microorganismos metanogénicos, los cuales utilizan el hidrógeno. Estos últimos transforman el hidrógeno junto con el CO₂ en metano, por lo que, se deben mantener las condiciones necesarias del ambiente para facilitar la actividad de esas bacterias que generan el ácido cítrico. En la última fase de la generación del biogás; metanogénesis, los orga-

nismos metanogénicos aeróbicos transforman, principalmente ácido cítrico y especialmente el hidrógeno y el CO₂ en metano.

El proceso microbiológico de esas cuatro fases hasta llegar a la generación del biogás ocurre sin contratiempos, siempre y cuando, se garanticen las condiciones del proceso al regular los parámetros del procesamiento. Esas condiciones permiten la transformación de las estructuras de los polímeros a monómeros, para que al final se obtenga biogás y los respectivos residuos, como el efluente, el cual es usando como biofertilizante. Para el mejoramiento de la efectividad del proceso conviene tener una concentración de la masa seca del insumo. El Cuadro 1 muestra el efecto de incrementar la concentración de la masa seca para aumentar la concentración de los elementos químicos en el efluente. Además, al reducirse la humedad se tiene un ahorro significativo en el agua utilizada para el proceso, lo cual reduce adicionalmente el transporte de los insumos.

Al incrementar la masa seca de los insumos en el proceso desde 8% a 35%, se duplica la concentración de macro y microelementos debido a la disminución del 50% del agua utilizada en el proceso. Por lo que, para recorrer una misma distancia del transporte para la distribución del efluente y el lodo en los terrenos agrícolas como fertilizante, se suministra el doble de nutrientes en el lote, lo cual representa un ahorro de energía, solo del transporte

Cuadro 1. Comparación de las características nutritivas del efluente y del lodo de un biodigestor de proceso convencional y de uno con alta concentración de masa seca.

Determinación	Método	Unidad	Efluente	Lodo
Cond. eléctrica	NMX-FF-109-SCFI-2007	(dSm ⁻¹)	15.80 (31.0)	15.90 (31.0)
* Nitrógeno total	Kjeldahl	(%)	0.16 (31.8)	2.02 (2.06)
* Fósforo (P ₂ O ₅)	Digestión en microondas/ espectrofotometría	(%)	0.02 (0.05)	0.68 (1.31)
* Potasio (K)	Elementos solubles en agua /AA	(%)	0.36 (76)	2.14 (430)
* Calcio (Ca)	Elementos solubles en agua /AA	(%)	0.11 (0.23)	3.00 (6.20)
* Magnesio (Mg)	Elementos solubles en agua /AA	(%)	0.04 (0.09)	0.58 (1.21)
* Sodio (Na)	Elementos solubles en agua /AA	(%)	0.06 (0.13)	0.42 (0.85)
* Azufre (S)	Digestión microondas / turbidimetría	(%)	0.02 (0.05)	0.55 (1.12)
* Hierro (Fe)	Digestión en microondas /AA	(mg kg ⁻¹)	24 (49)	2296 (4608)
* Cobre (Cu)	Digestión en microondas/AA	(mg kg ⁻¹)	0.5 (1.04)	16.5 (33.4)
* Manganeso (Mg)	Digestión en microondas/AA	(mg kg ⁻¹)	3.8 (7.65)	204.0 (410.0)
* Zinc (Zn)	Digestión en microondas/AA	(mg kg ⁻¹)	1.8 (3.65)	91.6 (184.5)
* Boro (B)	Digestión en microondas/AA	(mg kg ⁻¹)	2.1 (4.3)	45.3 (91.2)
* Materia orgánica	Calcinación	(%)	6.47 (12.98)	12.20 (24.70)
Humedad	Método gravimétrico	(%)	91.8 (184.3)	83.5 (168.2)

* Resultados reportados en función de base húmeda. () valores para una alta masa seca

del 50% de la energía utilizada. En el caso en que, las condiciones del proceso son reguladas diferencialmente, por ejemplo, por el control de la temperatura durante el tiempo del desarrollo de un proceso específicamente orientado, es decir, no hacia las bacterias mesófilas, pero si a las termófilas y la carga del espacio, es demasiado elevado, las condiciones de los microbiológicos se modifican frecuentemente, de tal forma que las condiciones del proceso de transformación ya mencionadas son tan cambiantes que, los microorganismos que utilizan los ácidos pueden morir o inactivarse. El proceso de las cuatro fases para generar biogás no está exento de complicaciones, ya que puede ser que, el reactor se encuentre demasiado ácido, con un valor pH mucho más bajo de 7. Puede ser posible que, se registren valores de pH de alrededor de 3.5. Los valores bajos afectan a los microorganismos metanogénicos que actúan sobre los sustratos en el reactor, ya que esos requieren condiciones casi neutras para efectuar la degradación, por lo que no llegan a transformarlos. Los sustratos sobre los que es posible actuar están catalogados como estabilizados. La empresa GICON (Anonymous, 2017) y los investigadores de la institución HAWK Göttingen (Ganagin *et al.*, 2017)

ya han demostrado la factibilidad de alterar el material ácido para la generación de biogás. Así, el objetivo de este estudio es mostrar una tercera y nueva visión científica, la cual combina los dos procesamientos previos (Universität Rostock, 2014).

En la primera parte del procesamiento, el sustrato solo recibe un tratamiento de degradación de dos fases; hidrólisis y acidogénesis, por lo que el producto final no es biogás (Figura 1 izquierda). El producto es una biomasa muy ácida (Figura 1 derecha). Este escenario puede ser deseable y

puede estar organizado sistemáticamente por el manejo del procesamiento. La mayor ventaja de mantener el ambiente ácido se hace para evitar la continuidad de una degradación microbiológica. Con este efecto se garantiza un periodo estable del tiempo, el cual permite una extracción técnica de los ácidos. Esta extracción técnica de los ácidos orgánicos generados es la segunda parte del nuevo procesamiento.

En caso de que, se carezca de un ambiente demasiado ácido; cuando las condiciones son neutras, también puede ocurrir una extracción técnica, que puede deberse a otros procesos, donde se utilizan los ácidos orgánicos generados. Este proceso es mucho más natural: los microorganismos (metanogénicos) tienen la posibilidad de usar la energía que contienen los ácidos. Este proceso se sucede demasiado rápido, pero solo ocurre en condiciones neutras. El proceso técnico para extraer los

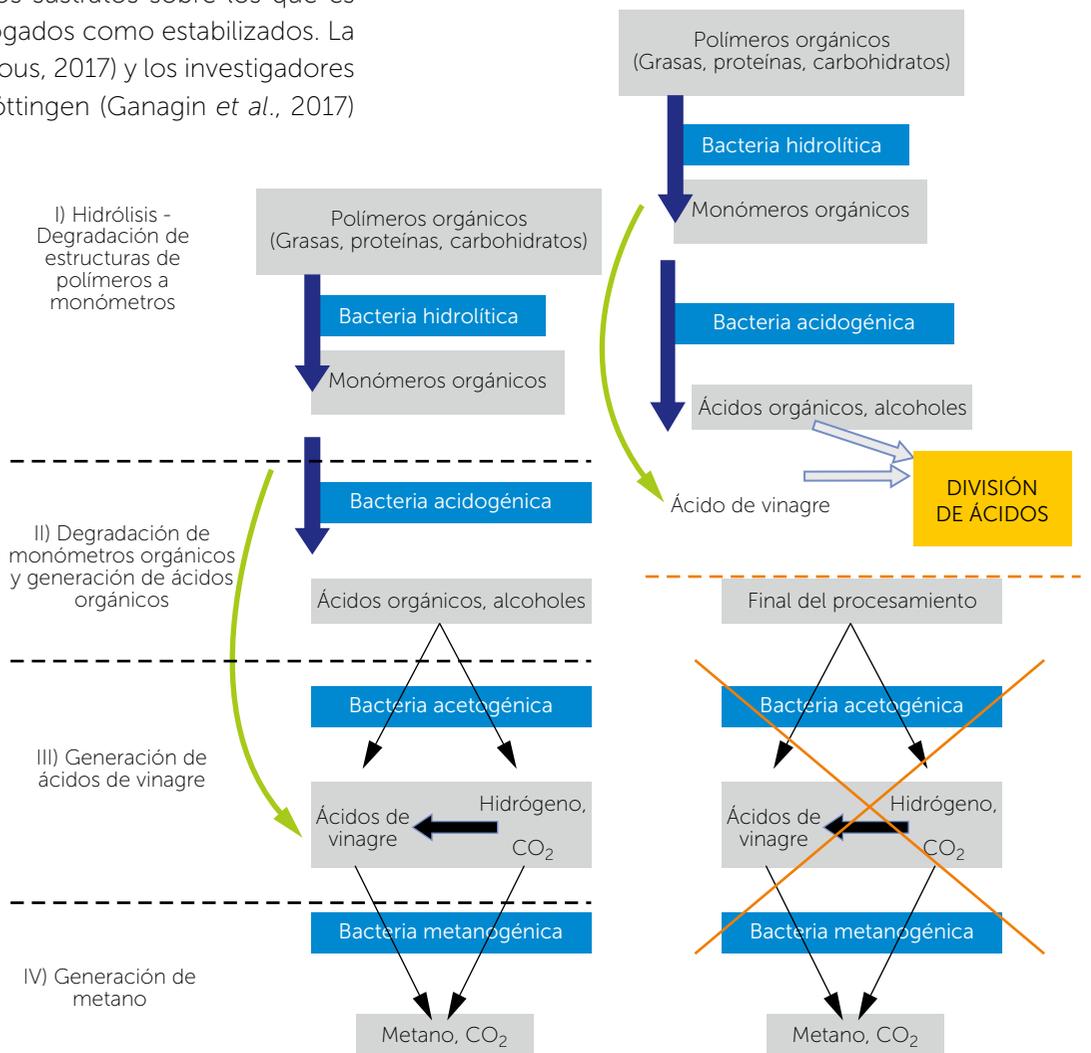


Figura 1. Generación de biogás a partir de cuatro fases de degradación aeróbica (izquierda) y generación de ácidos orgánicos con dos fases de degradación aeróbica (derecha).

ácidos orgánicos del sustrato líquido no es tan rápido como el proceso natural realizado por los microorganismos, por lo que, técnicamente se extrae solo una parte de los ácidos orgánicos. La parte restante de los ácidos que permanece es utilizada por los microorganismos para el proceso natural y de forma simultánea a la extracción técnica. Esa parte utilizada en el proceso natural no está disponible para el proceso técnico, por lo que, se reduce la efectividad de la producción de ácidos orgánicos. De ahí que, debido el efecto del incremento hacia un ambiente ácido, se reducen las condiciones neutras, lo que bloquea a los microorganismos metanogénicos, y se logra la extracción técnica de los ácidos orgánicos debido a la disponibilidad de tiempo. Ante esas posibilidades para utilizar los ácidos orgánicos y los materiales residuales se puede conseguir una mayor rentabilidad de los procesos para el tratamiento de la masa orgánica. Estos valores representan la base para una evaluación económica más completa, ya que los costos son un factor determinante y no se pueden obviar. Aunque también, es importante el costo que implica eliminar los restos de la hidrólisis (Figura 2). En estos desechos escasean los elementos que sean sencillos de reducir por los microorganismos, ya que se carece de proteínas y de grasas casi en su totalidad. Igualmente, aunque la hemicelulosa es más sencilla de degradar con respecto a la celulosa-lignina, su presencia es bastante limitada. Esos elementos ya fueron degradados por los ácidos orgánicos en el proceso. De ahí la importancia de generar un proceso novedoso para los desechos resultantes del procesamiento previó, con el propósito de reducir los costos para eliminar estos residuos.

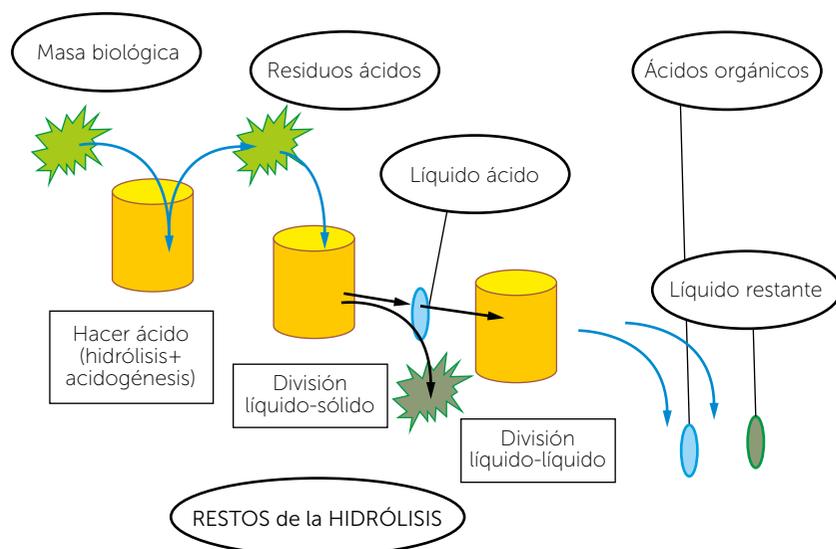


Figura 2. Flujo que sigue el procesamiento para la generación de ácidos orgánicos de la biomasa, mostrando los desechos de la hidrólisis.

En un análisis realizado sobre los residuos del procesamiento se encontró que, el material residual presentó una notable característica física; una alta porosidad en la estructura. Asociado el hecho de que, casi todos los elementos del tipo inestable ya fueron degradados en el proceso. Estas características son fundamentales para la producción de biocarbón. Así que, como los residuos del proceso contienen humedad y al aplicar un proceso hidrotérmico de carbonización (HTC) se genera el biocarbón.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El biocarbón es generado por el calentamiento de la biomasa, principalmente vegetal y que posea un alto contenido de humedad. Debido a las altas temperaturas del proceso de la pirolisis o de carbonización hidrotérmica, se efectúa una evaporación selectiva de algunas partículas contenidas en esa biomasa. El residuo final es un material sólido y duro, con una gran concentración de carbón, conocido generalmente como biocarbón (Titríci, 2013). Sus características físicas finales determinan su posible utilización como un biomaterial, o como una fuente para generar energía (Figura 3), llegando incluso a sustituir a los combustibles convencionales fósiles actuales.

La rentabilidad del biocarbón como fuente energética es altamente apreciada siempre y cuando, el transporte de la biomasa sea más costoso, debido en parte a su alto contenido de humedad y de que ésta, contribuye a un proceso de una incineración ineficiente. El biocarbón también puede complementar el combustible en

las plantas de energía que operan con carbón mineral. En este caso y en particular, su efecto al medioambiente es positivo. El biocarbón ofrece características físicas y químicas interesantes para ser utilizado como biomaterial. Por un lado, su estructura presenta una alta solidez, de ahí su resistencia contra los procesos naturales, los químicos y los biológicos, lo que resulta en que, la degradación del carbón en la masa orgánica que sirve de base para el biocarbón se acelere. Se ha diagnosticado que, el carbón en el suelo derivado del biocarbón exhibe una longevidad de más de 1000 años (Lehmann, 2007). Debido a esta cualidad de estabilidad surgen mayores oportunidades para su utilización, como es su incorporación dentro del suelo, lo

cual ofrece dos ventajas: primero, por el secuestro de carbono, el suelo actúa como un almacén de carbono (C), evitando que éste se esparza en la atmósfera (Autorenkollektiv, 2016). Segundo, se mejora la capacidad del suelo para retener la humedad, lo cual se debe a su superficie altamente porosa, consiguiendo almacenar mayor cantidad de los elementos solubles en el agua (Favoio y Hogg, 2006). Al producto de esta relación se le conoce coloquialmente como Terra Preta (Scheub *et al.*, 2013).

La presencia de esos poros, lo habilita también para ser utilizado para la limpieza de líquidos y la eliminación de impurezas presentes en los gases. Por ejemplo, la limpieza del aire en el interior de los establos debido a la acumulación de amoníaco (NH₃) (Ibrahim *et al.*, 2014). La gran superficie de poros del carbón es fundamental para el éxito de esa cualidad, lo cual se explica por la presencia de fuerzas físico-químicas entre las moléculas (Schrage *et al.*, 2013), las cuales atrapan las moléculas indeseables junto al carbón, separándolas del aire del establo. De ahí la importancia de evaluar la estabilidad del biocarbón y así disponer de elementos para validar su aplicación en otros casos. Este atributo está estrechamente vinculado con el carbón y su estructura, por lo que es valioso que, mediante parámetros medibles se efectúe una evaluación de esta característica. El Cuadro 2 muestra algunos de esos parámetros, los cuales provienen de varios tratamientos termoquímicos a los que puede ser sometida la masa biológica.

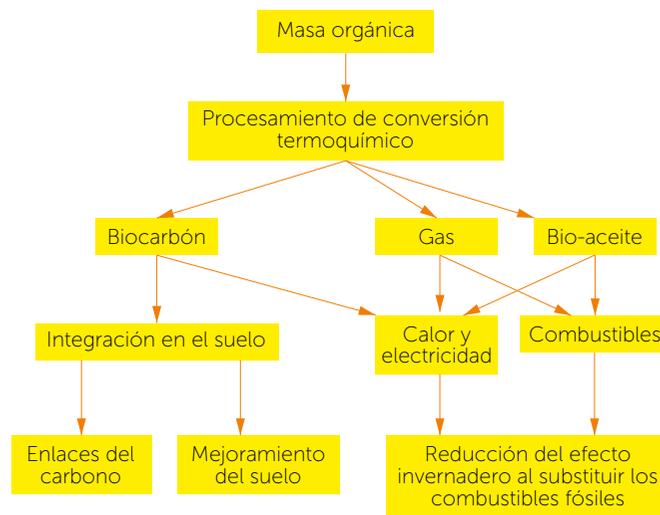


Figura 3. Flujo de la generación de biocarbón, adaptado de Teichmann (2014).

La eficiencia de conversión del carbón y la eficiencia de la masa sólida tienen una relación directa con las características propias de la materia prima de la biomasa, tales como insumo en el proceso. Otro factor importante es la composición de la biomasa sobre la calidad del biocarbón. Como se mencionó anteriormente, el contenido de la celulosa-lignina tiene una relación respecto a los contenidos de las

grasas y las proteínas. Esa es el componente con la mayor estabilidad; y es la base para la generación del biocarbón. La composición de la celulosa-lignina por sí sola, es muy superior a las grasas y las proteínas; de ahí que, son tres los componentes de interés; la hemicelulosa, la celulosa y la lignina. La hemicelulosa es más débil que la lignina. Para que la lignina sea el arranque de la reacción, la eficiencia de la masa será mayor, siempre y cuando la masa que entra como insumo sea rica en lignina respecto a la celulosa (Funke, 2007). En el procesamiento para la carbonización no se altera significativamente la composición de la lignina (Liebeck, 2015). El calor y la presión tienen un efecto mayor sobre los contenidos débiles de la lignocelulosa. Aunque a los contenidos más resistentes se les apliquen los mismos tratamientos, sus cambios son menos significativos. Se tiene así la posibilidad de que, al ejecutarse el proceso de la carbonización de una masa biológica inicial, la cual contenga una menor parte de carbón débil, el efecto del resto sobre el proceso de la hidrólisis puede ser que: el rendimiento sea mejorado, porque el contenido del material resistente en la masa inicial se

Cuadro 2. Concentraciones y eficiencia durante la generación del carbón y la masa sólida de biocarbón (Meyer *et al.*, 2011).

Proceso	Velocidad del proceso	Temperatura del proceso (°C)	Tiempo del proceso	Carbón		Eficiencia de masa sólida ¹⁾
				Concentración	Eficiencia ¹⁾	
				M.-%	(%)	
Pirólisis	lento	aprox. 400	-	95	aprox. 58	aprox. 30
	rápido	aprox. 500	aprox. 1 s	74	12-26	12-26
HTC ²⁾	-	180 - 250	1-12 h	< 70	88	< 66
Gasificación	-	aprox. 800	< 20 s	-	-	aprox. 10

¹⁾ masa del producto/masa orgánica de entrada; ²⁾ carbonización hidrotérmica.

incrementa en respuesta en la cantidad de biocarbón generado. La energía necesaria del proceso se reduce, porque se reduce la masa a evaporar. El agua del proceso (por HTC) tiene menos elementos como productos de la degradación, los cuales están vinculados con la masa biológica débil y las partes del carbón.

CONCLUSIONES

La rentabilidad del uso de la masa biológica en un proceso desarrollado en forma de cascada es viable al realizarse dos procesos en forma de cadena, siempre y cuando se establezcan las condiciones del proceso. Por lo que, la rentabilidad depende de: la producción y la venta/aplicación de los ácidos orgánicos; una reducción de los costos en la eliminación de los desechos de la hidrólisis, y la producción de carbón, su venta y aplicación. Es posible reutilizar los gases de la hidrólisis que contengan hidrógeno o un biogás, para utilizarse en calentar el reactor del proceso de la carbonización y coadyuvar a mejorar la rentabilidad. Con este estudio se sientan las bases para validar que, solo para generar biocarbón a partir de los restos de la hidrólisis aplicando la carbonización hidrotérmica es posible obtener mayor eficiencia de conversión, que empleando otros procesos termoquímicos.

LITERATURA CITADA

- Anonymous. 2017. Das GICON-Biogasverfahren. <http://www.gicon-engineering.com/gicon-biogas-technologien/das-gicon-biogasverfahren.html> [consultado el 11/09/2017].
- Autorenkollektiv. 2016. Chancen und Risiken des Einsatzes von Biokohle und anderer „veränderter“ Biomasse als Bodenhilfsmittel oder für die C-Sequestrierung in Böden. Forschungsinstitut für Bergbaufolgelandschaften. Hrsg. Umweltbundesamt, p. 205.
- Autorenkollektiv. 2007. Klimaschutz durch Biomasse. Sondergutachten des Sachverständigenrates für Umweltfragen (SRU). Erich Schmidt Verlag. ISBN 978-3-503-10602-8.
- Favoio E., Hogg D. 2006. The potential contribution of biowaste to tackle climate change: shortcomings of life cycle analysis concerning biowaste and relevance to policy-making. ORBIT 2006: Biological Waste Management. From Local to Global; Proceedings of the International Conference ORBIT 2006. Eckhard Kraft (Hrsg.) Weimar. ISBN 3-935974-09-4.
- Funke A. 2012. Hydrothermale Karbonisierung von Biomasse – Reaktionsmechanismen und Reaktionswärme. Dissertation. Berlin: Fakultät III-Prozesswissenschaften der Technischen Universität Berlin.
- Ganagin W., Loewen A., Hahn H., Nelles M. 2017. Flexible Biogaserzeugung durch technische und prozessbiologische Verfahrensanpassung. https://www.energiesystemtechnik.iwes.fraunhofer.de/content/dam/iwes-neu/energiesystemtechnik/de/Dokumente/Veroeffentlichungen/Flexible_Biogaserzeugung_durch_technische_uun_prozessbiologische_Verfahrensanpassung.pdf. [consultado el 11/09/2017].
- Ibrahim B., Schlegel M., Kanswohl N. 2014. Investigation of applicability of wetland biomass for producing biochar by hydrothermal carbonization (HTC). *Landbauforschung. Applied Agriculture and Forestry Research*. 64(2): 119-124.
- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5 (7), P. 381-387.
- Liebeck M. 2015. Untersuchung zur Hydrothermalen Carbonisierung an Modellsubstanzen. Dissertation. Darmstadt: Fachbereich Chemie, Technische Universität Darmstadt.
- Meyer S., Glaser B., Quicker P. 2011. Technical, Economical, and Climate-Related Aspects of Biochar Production Technologies: A Literature review. *Environmental Science & Technology*, 45(22): 9473-9483.
- Scheub U., Pieplow H., Schmidt H.P. 2013. Terra Preta: die schwarze Revolution aus dem Regenwald; mit Klimagärtnern die Welt retten und gesunde Lebensmittel produzieren. Verlag Oekom. p. 206, ISBN 978-3-865-81407-4.
- Schlegel M., Pérez-Pineda E., Ortiz-Laurel H., Schnabel D., Kanswohl N., Rössel D. 2013. Adaptación de un biocontenedor para la generación de biogás en instalaciones descentralizadas en zonas marginadas. En: *Energía Alterna y Biocombustibles: innovación e investigación para el desarrollo sustentable*. Pérez Vázquez, A. y García Pérez, E. editores. bba. Colegio de Postgraduados. 1-12.
- Schrage C., Modrow A., Fichtner S., Giebelhausen, J.M., Böhringer B. 2013. Funktionalisierte polymerbasierte sphärische Aktivkohle für Flüssig- und Gasphasenanwendungen. *Chemie Ingenieur Technik* 2014, 86, No. 1-2, pp. 27-34.
- Teichmann I. 2014. Klimaschutz durch Biokohle in der deutschen Landwirtschaft: Potentiale und Kosten. 81. Jahrgang. DIW Wochenbericht Nr.1+2.
- Titrici M.M. 2013. Sustainable Carbon Materials from Hydrothermal Processes. WILEY, p. 372. ISBN 978-1-119-97539-7.
- Universität Rostock. 2014. Einrichtung und Verfahren zum biologischen Abbau eines Substrats. Erfinder: Mathias SCHLEGEL. Anmeldung: 18.03.2014. DE10 2014 103 660.



EDIBLE FILMS ELABORATED WITH PECTIN FROM PINEAPPLE (*Ananas comosus* L.) PEEL

PELÍCULAS COMESTIBLES ELABORADAS CON PECTINA DE CÁSCARA DE PIÑA (*Ananas comosus* L.)

Franco-Maya, E.A.¹; Rayas-Amor, A.A.²; Salgado-Cruz, M de la P.³; Cruz-Monterrosa, R.G.²;
Jiménez-Guzmán, J.²; Miranda de la Lama, G.C.²; García-Garibay, M.²; Díaz-Ramírez, M.^{2*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias Ambientales. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ³Instituto Politécnico Nacional. Cátedra CONACyT. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Av. Wilfrido Massieu, Esq. Calzada Miguel Stampa s/n, Del. Gustavo A. Madero 07738 Ciudad de México, México.

*Autor de correspondencia: marea131079@gmail.com

ABSTRACT

Objective: The aim of this work was to produce edible films with pectin extracted from the pineapple peel (*Ananas comosus* L.), as well as to evaluate its characteristics such as color, resistance to perforation and degradability.

Design/methodology/approach: The edible films from the pineapple peel pectin were made using the casting method (7ml and 10ml). Results: The results showed that the pineapple peel pectin films had lower luminosity and puncture resistance values (between 42.18 ± 0.47 and 31.07 ± 0.66 , between 8.87 ± 0.82 N and 3.61 ± 0.4 N) than the control (citrus fruits) (between 86 ± 0.26 and 85.46 ± 0.99 , between 26.01 ± 2.9 N and 18.82 ± 1.9 N), but its degradability (% weight loss) on the first day was significantly higher ($P < 0.05$); at the end (7 days) both types of films showed similar degradability (99%).

Study limitations/implications: The physical and mechanical properties of edible films made with pectin extracted from pineapple peel should be improved.

Findings/Conclusions: This work showed that pineapple peel pectin films are highly biodegradable, so their use and application in foods is possible; however, more studies are required to optimize their physical and mechanical characteristics.

Keywords: Pineapple peel, pectin, edible films, degradability.

RESUMEN

Objetivo: Elaborar películas comestibles con la pectina extraída de la cáscara de piña, (*Ananas comosus* L.) y evaluar características de color, resistencia a la perforación y degradabilidad.

Diseño/metodología/aproximación: Las películas comestibles se elaboraron utilizando el método de vaciado en placa (7ml y 10ml).

Resultados: Las películas de pectina de cáscara de piña tuvieron valores de luminosidad y resistencia a la perforación menores (entre 42.18 ± 0.47 y 31.07 ± 0.66 ; entre 8.87 ± 0.82 N y 3.61 ± 0.4 N) que las del control (cítricos) (entre 86.0 ± 0.26 y 85.46 ± 0.99 ; entre 26.01 ± 2.9 N y 18.82 ± 1.9 N) pero su degradabilidad (% pérdida de peso) al primer día fue significativamente mayor ($P < 0.05$); al final (7 d) ambos tipos de películas mostraron una degradabilidad similar (99%).

Limitaciones del estudio/implicaciones: Se deben mejorar las propiedades físicas y mecánicas de las películas comestibles hechas con pectina extraída de la cáscara de piña.

Hallazgos/conclusiones: Este trabajo demostró que las películas a partir de pectina de cáscara de piña son altamente biodegradables y no se descarta su uso y aplicación en alimentos; sin embargo, se requieren más estudios para la optimización de sus características físicas y mecánicas.

Palabras clave: Cáscara de piña, pectina, películas comestibles, degradabilidad.

2015). Sus aplicaciones se han diversificado, por ejemplo, como materiales de pared en nanoencapsulados (Ghasemi *et al.*, 2018) y como ya se ha mencionado en la elaboración de películas comestibles. Si bien los estudios son numerosos no existen reportes respecto del uso de pectina de cáscara de piña (*Ananas comosus* L.) en la elaboración de este tipo de empaques.

La piña es un fruto tropical muy consumido en el mundo; sin embargo, gran parte del fruto se desecha cuando ésta se industrializa, y éstos constituyen entre 50% y 65% del fruto, de los cuales 12% es la corona (parte superior del fruto), 9% es el tallo de la piña (corazón) y un 32% es la cáscara de la piña (Anabella Reyes, 2015). Si bien uno de los principales propósitos de la sociedad actual es la preservación del medio ambiente (Solis, 2016), las pocas alternativas económicas, sociales, nutricionales, así como la falta de cuidado ambiental provocan que estos residuos sean mal manejados y se conviertan en fuentes de contaminación del suelo, agua y aire (Cury *et al.*, 2017); sin embargo, su utilización como fuente alterna de materiales de valor agregado, resultaría ventajosa desde el punto de vista socioeconómico y ambiental (Quesada *et al.*, 2005). Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar las características de películas elaboradas con pectina extraída de la cáscara de *Ananas comosus* L. para conocer sus características y la factibilidad de su uso en alimentos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La cáscara de piña (*Ananas comosus*) se recolectó en el municipio de Xonacatlán Estado México, procedente del Estado de Colima, México. Se utilizó pectina de cítricos

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de películas comestibles con características de barrera, mecánicas, térmicas y de degradabilidad adecuadas ha sido ampliamente estudiado para sustituir a los empaques de plástico convencionales y disminuir su impacto ambiental (Domínguez-Courtney y Jiménez-Munguía, 2012; Oropeza *et al.*, 2016). Al respecto, los desechos de frutas que contienen pectina son una fuente importante para su extracción y utilización (Arthey y Ashurst, 1996). Las pectinas son un grupo complejo de heteropolisacáridos estructurales presentes en los vegetales que tienen diferentes grados de esterificación y que pueden contener de 200 a 1,000 unidades de ácido galacturónico (Stephen *et al.*, 2006; Badui, 1999). Por su grado de esterificación se pueden distinguir dos tipos, las de alto y bajo índice de metoxilo (HM, High Metoxil) (más del 50% de grupos carboxilos esterificados y las LM: Low Metoxile, equivalente a menos del 50% de grupos carboxilos esterificados). La extracción comercial de pectina normalmente se realiza de cáscaras de frutas, tales como la manzana (*Malus domestica* L.) y cítricos (*Citrus* sp.) (limón, la lima, naranja, toronja y mandarina), pero recientemente se han realizado estudios para obtener de otro tipo de cáscaras como la granada (*Punica granatum* L.) (Pereira *et al.*, 2016), el plátano (*Musa* sp.) (Oliveira *et al.*, 2016), el mango (*Mangifera indica* L.) (Parniakov *et al.*, 2016), papaya (*Carica papaya* L.) (Koubala *et al.*, 2014) entre otras fuentes. Los métodos para su extracción también son variados e incluyen desde la extracción tradicional con ácidos (Charchalac Ochoa, 2008) y enzimas (Zapata *et al.*, 2009) hasta el uso de otras tecnologías alternas como el ultrasonido (Campo-Vera *et al.*, 2016) y microondas (Zegada Franco,

(Pectin from citrus peel, Sigma-Aldrich, MO, USA) como control, glicerol y tween 20 para la elaboración de las películas comestibles, así como HCl y etanol grado reactivo para la extracción de pectina.

Para la extracción de pectina, se utilizó la metodología descrita por Carcabas *et al.* (2012) con algunas modificaciones. La cáscara de piña se sometió a una hidrólisis ácida con HCl al 37% y a un pH de 0.3 durante 45 min, se filtró al vacío y se adicionó etanol (70% de la solución), se centrifugó (Modelo DSC-301SD, Digisystem Laboratory Instruments Inc, Taiwan, China) a 4500 rpm durante 10 min, se decantó el etanol, y la pectina recuperada, se secó a 45 °C en estufa (Modelo 663, Cole-Parmer Instrument Company, LCC, IL, USA). Para determinar el porcentaje de pectina extraída de la cáscara se utilizó la fórmula de Karim *et al.* (2014) descrita a continuación.

$$\%pectina = \frac{\text{peso de la pectina seca}}{\text{peso de la cáscara seca}} \times (100)$$

Para la elaboración de las películas comestibles se siguió el método de vaciado en placa de acuerdo con Gaona *et al.* (2016), utilizando ambas pectinas (control y de cáscara de piña) en solución en agua al 5% (p/v), glicerol y tween 20 en una proporción 1:0.011:0.002. La solución de pectina se calentó a 85 °C con agitación constante (2000 rpm), se adicionó el glicerol y tween 20 hasta homogeneizar. La solución se dejó enfriar y se vertieron 7 y 10 mL en cajas Petri, por último, las soluciones se colocaron en estufa a 50 °C durante 4.5 h. Para determinar la apariencia física y microestructura de las películas comestibles, se tomaron fotografías con una cámara de resolución de 2592×1936 pixeles y se colocó la muestra de 14 cm² en un microscopio compuesto (Primo Star, Carl Zeiss, Gottingen, Germany). Las películas se observaron con un objetivo de 4x, y se tomaron micrografías con una resolución de 2592×1936 pixeles.

Para determinar las características físicas de las películas, se evaluó el diámetro y grosor de las películas, la humedad de la película por el método de la termobalanza (MB45-Ohaus, Parsippany, USA) a 80 °C durante 60 min. La resistencia mecánica de las películas se evaluó mediante la prueba de perforación (N) y deformación (mm) (Chen y Lai, 2008) en muestras rectangulares de 60 mm×20 mm con un texturómetro CT3-Brookfield (Brookfield, Middleboro, USA) y con una carga de 4.5 g, a una velocidad de prueba de 0.55 mm s⁻¹. El color de

las películas se midió utilizando un colorímetro (Konica Minolta CR-400, New Jersey, USA.), donde se obtuvieron los datos del sistema CIE L*a*b* (estándar internacional para color adoptado por la Comisión Internacional de Iluminación, CIE por sus siglas en francés).

Para definir la degradabilidad, las películas comestibles fueron enterradas en un suelo limoso (52±1.4% de humedad, 22±.5% de materia orgánica, 13±0.8% de carbono orgánico, pH 6±0.1, salinidad 46±7.8 mg kg⁻¹ suelo y NO₃ 29±6.2 mg kg⁻¹ suelo) con coordenadas (19° 17' 31.67" N y 99° 29' 54.34" O) tomadas con un GPS (e-trex20, Garmin Southampton, Reino Unido), en una superficie de 1 m², a 25 cm de profundidad, el área de las biopelículas enterrada fue de 14 cm². Las películas comestibles se desenterraron en intervalos específicos (1, 3, 6 y 7 d), se depositaron en bolsas de papel identificadas y se metieron a secar a la estufa de aire forzado (Modelo 663, Cole-Parmer Instrument Company, LCC, IL, USA) a 45 °C durante 24 h. El porcentaje de pérdida de peso se calculó usando la siguiente ecuación.

$$\text{Pérdida de peso \%} = \frac{w_i - w_f}{w_i} \times (100)$$

En donde; w_i =peso seco inicial de las películas comestibles antes de la prueba, w_f =peso seco final de las películas comestibles.

Todos los análisis se realizaron por triplicado, se calculó la media y la desviación estándar. Además se realizó la prueba de Tukey para evaluar las diferencias significativas ($P < 0.05$) usando el software SigmaPlot V.11.0 (Systat Software Inc. USA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción de pectina y apariencia de las películas. El rendimiento de pectina obtenido de la cáscara de piña fue de 1.4±0.03%. Estos resultados son mayores a lo reportado por Ukiwe y Alinnor (2011) quienes obtuvieron un valor de 0.4±0.0% utilizando HCl en la extracción de este biopolímero, no obstante, existen diferencias en cuanto a los métodos utilizados, tal es el caso del pH, que en este estudio registró un valor de 0.3, mientras que en el trabajo citado fue de 1.5 a 3.0. Las Figuras 1A y 1B muestran como las biopelículas comestibles control son transparentes mientras que las de pectina de cáscara de piña tienen una tonalidad que va de color amarillo a café oscuro dependiendo del volumen de vaciado en la

placa (7mL y 10 mL respectivamente) (Figura 1C y 1D). Por otro lado, las micrografías muestran que las películas de cáscara de piña tienen tonalidades de color amarillo, rojo y café oscuro. El color de estas partículas probablemente se debe a las reacciones de Maillard y reacciones de oxidación (Badui, 1999) por el proceso térmico al que fueron sometidas.

El Cuadro 1 muestra los resultados de los parámetros evaluados a las películas, como se observa el diámetro, grosor y humedad no se modificaron por efecto del volumen de vaciado y tipo de pectina utilizada. Con respecto al color se tomó el modelo CIE $L^* a^* b^*$, donde el parámetro L^* corresponde a la luminosidad del color y toma los valores de 0 a 100, $L=0$ corresponde al color negro y $L=100$ corresponde al color blanco; los parámetros a^* y b^* son componentes cromáticos, cuyos valores van de -120 a 120 ; a^* es el croma donde los valores positivos (+) corresponden a rojo y los valores negativos

(-) a color verde, el valor de b^* toma valores positivos (+) que corresponden al color amarillo y valores negativos (-) que corresponden al color azul (Vásquez Riascos, 2015). Como se observa en el Cuadro 1, la luminosidad (L) que presentan las películas fue de 86 ± 0.26 a 31.07 ± 0.66 . Las películas control presentan mayor luminosidad (86 ± 0.26 -7mL y 85.46 ± 0.99 -10 mL) ($P < 0.05$) comparadas con las películas de pectina de cáscara de piña cuyos valores fueron de 42.18 ± 0.47 y 31.07 ± 0.66

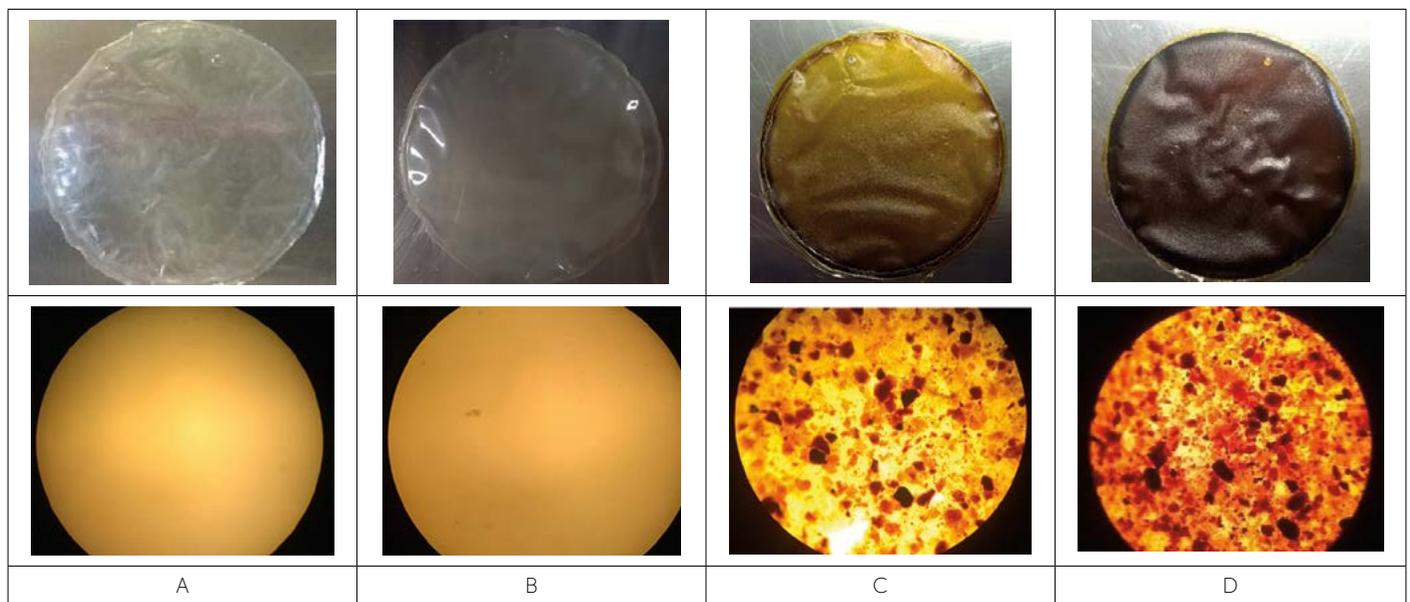


Figura 1. Fotografías y micrografías tomadas con microscopio óptico a 4x de las películas elaboradas con pectina control de 7mL (A) y 10mL (B); y con pectina de cáscara de *Ananas comosus* L. de 7mL (C) y de 10mL (D).

Cuadro 1. Parámetros físicos de las películas control y de las obtenidas a partir de la pectina de <i>Ananas comosus</i> L.				
Parámetros	Pectina control		Pectina cáscara de piña	
	7mL	10 mL	7mL	10mL
Diámetro (cm)	8.32 ± 0.09^a	8.36 ± 0.09^a	8.29 ± 0.28^a	8.26 ± 0.02^a
Grosor (mm)	0.09 ± 0.01^a	0.09 ± 0.01^a	0.08 ± 0.01^a	0.08 ± 0.01^a
Humedad (g/100)	6.4 ± 0.8^a	7.8 ± 0.5^a	7.7 ± 0.4^a	6.9 ± 0.5^a
Color				
L	86.0 ± 0.26^c	85.46 ± 0.99^c	42.18 ± 0.47^b	31.07 ± 0.66^a
a	0.84 ± 0.03^b	0.73 ± 0.04^a	14.07 ± 0.23^c	14.49 ± 0.08^d
b	2.5 ± 0.1^a	4.78 ± 0.09^b	24.37 ± 0.35^d	14.46 ± 0.24^c
Propiedades mecánicas				
Resistencia a la perforación (N)	18.82 ± 1.9^c	26.01 ± 2.9^d	3.61 ± 0.4^a	8.87 ± 0.82^b
Deformación (mm)	0.79 ± 0.06^a	0.64 ± 0.08^a	0.74 ± 0.03^a	1.37 ± 0.02^b

Promedio \pm Desviación Estándar. ^aLetras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

(7 mL y 10 mL respectivamente) así que éstas últimas tienden al color negro, siendo la película de 10mL la más oscura (31.07 ± 0.66), estos valores concuerdan con los resultados presentados en la Figura 1; en cuanto a los valores de "a", (de 0.73 ± 0.04 a 14.49 ± 0.08 para ambas películas: piña y control), al ser positivos tienden a una tonalidad rojiza pero las películas de cáscara de piña de 7 ml y 10 ml son las que tienen en mayor grado esta tonalidad con valores de 14.07 ± 0.23 y 14.49 ± 0.08 respectivamente. El valor de "b" fue positivo para ambas películas por lo que tienden al color amarillo; sin embargo, esta tendencia fue mayor en las películas de cáscara de piña con valores de 24.37 ± 0.35 y 14.46 ± 0.24 . Las tonalidades oscuras y la baja luminosidad de las películas de pectina de cáscara de piña se deben probablemente a las reacciones de Maillard y oxidación (Badui, 1999) de otros polisacáridos extraídos junto con la pectina, ya que ésta no se sometió a un proceso de purificación posterior. Valores bajos de "L" (27.89 ± 0.05) similares a este trabajo fueron reportados para películas elaboradas con extractos de cáscara de granada (Kumari et al., 2017).

Las propiedades mecánicas de las películas (Cuadro 1) muestran que aquellas producidas con pectina de la cáscara de piña son aproximadamente cinco veces menos resistentes a la perforación, que aquellas hechas con la pectina control, mientras que los valores de deformación no mostraron diferencias entre los tipos de pectinas utilizadas. Los valores de resistencia a la perforación y deformación de películas de pectina de cáscara de piña son comparables con películas elaboradas con almidón de chícharo, glicerol y goma guar en una proporción de 1:0.175:0.15 (Saberri et al., 2016), la baja resistencia de las películas de pectina de piña podrían deberse a la baja concentración de ésta por lo que en futuros trabajos podría modificarse esta variable además de realizar la evaluación de las propiedades físicoquímicas de la pectina.

Degradabilidad

La prueba de degradabilidad se realizó en un suelo limoso, y el Cuadro 2 muestra el porcentaje de pérdida de peso de las películas elaboradas con pectina control y cáscara de piña. En el día 1, las películas de piña (7 mL y 10 mL) mostraron mayor degradabilidad con respecto a las películas control, para el día 2 únicamente la película de 7mL de piña mostró un valor mayor ($P < 0.05$). Esta tendencia se mantuvo hasta el día 7, siendo la degradabilidad de las películas de pectina de piña de 7mL ligeramente más altas que el control. En general puede observarse que la pérdida de peso (%) de las películas hechas con pectina de cáscara de piña es comparable que las de pectina control (99%), por lo que es posible su uso en alimentos optimizando las características mecánicas y físicas. Se han reportado estudios (Oropeza et al., 2016) con películas de almidón de papa (*Solanum tuberosum* L.), quitosano y *Acacia catechu* que muestran que estas películas se pueden degradar en menos de seis meses, por lo que las películas de piña tienen alta degradabilidad.

CONCLUSIONES

Este estudio demostró la factibilidad de producción de películas comestibles con pectina de cáscara de piña, las cuales mostraron una apariencia física similar a aquellas hechas con extractos de cáscara de granada y aunque su resistencia a la perforación fue menor que la control su degradabilidad a los siete días, fue comparable (99%) con ella (control) por lo que no se descarta su uso y aplicación en alimentos.

LITERATURA CITADA

Anabella R.K. 2015. Cuantificación de vinagre obtenido de cáscara de piña por medio de fermentación alcohólica y acética, y su incidencia en la productividad, en una empresa guatemalteca (Maestría). Universidad de San Carlos de Guatemala.

Cuadro 2. Porcentaje de pérdida de peso de las películas elaboradas con pectina control y cáscara de piña

Días	Pérdida de peso (%)			
	7mL		10 mL	
	control	<i>A. comosus</i>	control	<i>A. comosus</i>
1	72.20 ± 0.06^b	79.09 ± 0.26^c	70.28 ± 0.40^a	79.60 ± 0.13^d
3	82.46 ± 0.06^a	95.18 ± 0.02^c	95.23 ± 0.02^c	89.80 ± 0.09^b
6	99.58 ± 0.02^b	99.88 ± 0.00^c	99.92 ± 0.00^d	95.39 ± 0.01^a
7	99.59 ± 0.01^b	99.88 ± 0.00^c	99.93 ± 0.00^d	99.29 ± 0.00^a

Promedio \pm Desviación Estándar. ^aLetras diferentes en la misma fila son significativamente diferentes ($P < 0.05$).

- Arthey D., Ashurst P. R. 1996. Procesado de frutas. Editorial Acribia S. A. España. 213-239.
- Badui S. 1999. Química de los alimentos, 3ra ed., Editorial Perason de México S.A. de C.V., México D.F., México. 75-84.
- Cabarcas E., Guerra A., Henao C. 2012. Extracción y caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. Universidad de Cartagena. Tesis de grado. Programa de Ingeniería Química. Cartagena. Colombia.
- Campo-Vera Y., Villada-Castillo D.C., Meneses-Ortega J.D. 2016. Efecto del pretratamiento con ultrasonido en la extracción de pectina contenida en el albedo del maracuyá (*Passiflora edulis*). Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial 14 (1):103-109.
- Charchalac-Ochoa L.R. 2008. Efecto del agente de extracción y tiempo de hidrólisis ácida en el rendimiento de pectina de cáscaras de maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa*). Proyecto de Tesis para optar el título de Ingeniera en Industrias alimentarias, Universidad Zamorano. Honduras. 29pp
- Chen C.H., Lai L.S. 2008. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tsoa leaf gum films in the presence of plasticizer. Food Hydrocolloids 22(8): 1584-1595.
- Cury K., Aguas Y., Martínez A., Olivero R., Chams L. 2017. Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. Revista Colombiana de Ciencia Animal 9: 122-132.
- Domínguez-Courtney M. F., Jiménez-Munguía M. T. 2012. Películas comestibles formuladas con polisacáridos: propiedades y aplicaciones. Temas Selectos De Ingeniería De Alimentos 6(2):110-121.
- Gaona-Sánchez V.A., Calderón-Domínguez G., Morales-Sánchez E., Chanona-Pérez J.J., Arzate-Vázquez I., Terrés-Rojas E. 2016. Pectin based films produced by electro spraying. Journal of Applied Polymer Science 133(34).
- Ghasemi S., Jafari S. M., Assadpour E., Khomeiri M. 2018. Nanoencapsulation of d-limonene within nanocarriers produced by pectin-whey protein complexes. Food Hydrocolloids 77:152-162.
- Karim R., Uddin M. B., Jubayer M. F. 2014. Optimization of pectin isolation method from pineapple (*Ananas comosus* L.) waste. Carpathian Journal of Food Science & Technology 6(2): 116-122.
- Koubala B.B., Christiaens S., Kansci G., Van Loey A. M., Hendrickx M. E. 2014. Isolation and structural characterisation of papaya peel pectin. Food research international 55: 215-221.
- Kumari M., Mahajan H., Joshi R., Gupta M. 2017. Development and structural characterization of edible films for improving fruit quality. Food Packaging and Shelf Life 12: 42-50.
- Oliveira T. Í. S., Rosa M. F., Cavalcante F. L., Pereira P. H. F., Moates G. K., Wellner N., & Azeredo, H. M. 2016. Optimization of pectin extraction from banana peels with citric acid by using response surface methodology. Food Chemistry 198: 113-118.
- Oropeza F., Montes A., Padrón C. 2016. Biodegradable films based on starch: mechanical/functional properties and biodegradation. Revista Venezolana De Ciencia Y Tecnología De Alimentos 7(1):65-93.
- Parniakov O., Barba F. J., Grimi N., Lebovka N., Vorobiev E. 2016. Extraction assisted by pulsed electric energy as a potential tool for green and sustainable recovery of nutritionally valuable compounds from mango peels. Food Chemistry 192: 842-848.
- Pereira P.H., Oliveira T.I., Rosa M.F., Cavalcante F.L., Moates G.K., Wellner N., Waldron K.W., Azeredo M.C. 2016. Pectin extraction from pomegranate peels with citric acid. International Journal of Biological Molecules 88: 373-379.
- Quesada-Solís K., Alvarado-Aguilar P., Sibaja-Ballesteros R., Vega-Baudrit J. 2005. Utilización de las fibras del rastrojo de piña (*Ananas comosus*, variedad champaka) como material de refuerzo en resinas de poliéster. Revista Iberoamericana de Polímeros 6: 157-179.
- Saberi B., Vuong Q.V., Chockchaisawasdee S., Golding J.B., Scarlett C.J., Stathopoulos C.E. 2016. Mechanical and physical properties of pea starch edible films in the presence of glycerol. Journal of Food Processing and Preservation 40(6):1339-1351.
- Solis S. 2016. Elaboración y caracterización de películas comestibles elaboradas con hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC). Universidad Autónoma del Estado de México. Tesis Licenciatura.
- Stephen A.M., Phillips G.O., Williams P.A. 2006. Food Polysaccharides and their applications. London: Taylor & Francis. 733.
- Ukiwe L.N., Alinnor J.I. 2011. Extraction of Pectin from Pineapple (*Ananas comosus*) Peel using Inorganic/Organic Acids and Aluminum Chloride. Fresh Produce 5(1): 80-83.
- Vásquez-Riascos A.M. 2015. Estimación de las coordenadas CIEL*a*b* en concentrados de tomate utilizando imágenes digitales (Maestría en Ingeniería Agroindustrial). Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería y Administración.
- Zapata A.D., Escobar C.A., Cavalitto S.F., Hours R.A. 2009. Evaluación de la capacidad de solubilización de pectina de cáscara de limón usando protopectinasa-SE. VITAE Revista de la Facultad de Química Farmacéutica 16(1): 67-74.
- Zegada-Franco V.Y. 2015. Extracción de pectina de residuos de cáscara de naranja por hidrólisis ácida asistida por microondas (HMO). Investigación & Desarrollo 1(15): 65-76.

EFFECT OF CHIA SEED (*Salvia hispánica* L.) USE IN THE ELABORATION OF STRAWBERRY JAM (*Fragaria × ananassa* Duch.) AS JELLING AGENT

EFFECTO DEL USO DE SEMILLA DE CHÍA (*Salvia hispánica* L.) EN LA ELABORACIÓN DE MERMELADA DE FRESA (*Fragaria × ananassa* Duch.) COMO AGENTE GELIFICANTE

Díaz-Ramírez, M.^{1*}; Beltrán-Orozco, M. del C.²; Calderón-Domínguez, G.²; Cortés-Sánchez, A. de J.³; Téllez-Medina, D.I.²; Ramos-Monroy, O.A.²; Salgado-Cruz, M. de la P.^{2,3*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ²Instituto Politécnico Nacional. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Plan de Ayala y Carpio s/n. Col Santo Tomas. C.P. 11340. México, D.F. ³Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

*Autor de correspondencia: sacpaz@hotmail.com

ABSTRACT

Objective: The aim of the present study was to evaluate the incorporation of chia seed (*Salvia hispanica* L.) in jams, taking advantage of its ability to form gels, and to absorb and retain water due to its mucilage content.

Design/methodology/approach: The study was performed using surface response methodology, by means of a D-optimal mix design, using the Design Expert 10.0.1 software, with which 17 formulations were obtained by combining three variables: fruit (49-50 g), chia seed (0-0.6 g) and pectin (0-1 g). The desirability function was used to optimize the formulation, where the evaluated physicochemical parameters (consistency, aw, °Brix and color: L, a *, b *) were restricted according to the most suitable characteristics for the product.

Results: The results obtained showed that the change in concentration of the fruit and pectin from chia seed generated important changes in the jam, mainly in luminosity as well as the flow rate.

Study limitations/implications: The addition of chia seed added to a formulation of strawberry jam modifies the color, particularly the luminosity and flow rate or consistency, which is why it is suggested to analyze this quality parameter through an assay that allows predicting the quality of the product and completing the information obtained.

Findings/conclusions: The use of mathematical models generated the optimal formulation as well as the prediction of the quality responses by the jams.

Keywords: chia seed, jam, pectin.



RESUMEN

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue evaluar la incorporación de semilla de chía (*Salvia hispánica* L.) en mermeladas aprovechando su capacidad de formar geles, absorción y retención de agua, debido a su contenido de mucílago.

Diseño/metodología/aproximación: El trabajo se realizó utilizando metodología de superficie de respuesta, mediante un diseño de mezclas D-optimal, utilizando el software Design Expert 10.0.1, con el cual se obtuvieron 17 formulaciones con la combinación de tres variables: fruta (49-50 g), semilla de chía (0-0.6 g) y pectina (0-1g). Se utilizó la función de deseabilidad para optimizar la formulación, en el cual se restringieron los parámetros fisicoquímicos evaluados (consistencia, aw, °Brix y color: L, a*,b*) de acuerdo con las características más adecuadas para el producto.

Resultados: Los resultados obtenidos mostraron que el cambio en la concentración de la fruta y pectina por semilla de chía genera cambios importantes en la mermelada, principalmente en la luminosidad, así como la tasa de fluidez.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La adición de semilla de chía promueve cambios en el color, particularmente en la luminosidad, así como en la tasa de fluidez o consistencia, por lo cual se sugiere que este parámetro de calidad sea analizado mediante un ensayo que permita predecir la calidad del producto y complementar la información obtenida.

Hallazgos/conclusiones: El uso de modelos matemáticos generó la formulación óptima, así como la predicción de las respuestas de la calidad de las mermeladas.

Palabras clave: semilla de chía, mermelada, pectina.

se somete a cocción hasta obtener un producto semi-líquido o espeso/viscoso. En México la norma indica que es el producto alimenticio obtenido de la cocción y concentración del jugo y pulpa de fruta sana, limpia y con el grado de madurez adecuado (NMX-F-131-1982), como se puede observar estas características varían en función de la legislación de cada país.

Tecnológicamente la elaboración de mermeladas implica la evaporación del agua y una disminución de su actividad acuosa, pH óptimo de 3.0, 40-65 °Brix, o menos para el caso de mermelada sin cítricos (CODEX, 2009; Belović *et al.*, 2007; García-Martínez *et al.*, 2002) como es el caso de mermelada de fresa, también se especifica el uso de aditivos para gelificar como la pectina, pero en la actualidad se buscan alternativas de hidrocoloides que puedan ser utilizados como sustitutos de gelificantes, entre ellos se puede mencionar a la semilla de chía, algunas investigaciones han reportado que el mucílago presente en su estructura exhibe la capacidad de absorción y retención de agua, formación de gel (Salgado-Cruz, 2013) y por ende una disminución en la pérdida de líquido. Estas características pueden ser utilizadas para emular propiedades texturales similares a las que produce la adición de la pectina, por ello el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la adición de semilla de chía en sustitución de la pectina en las características de estabilidad, color, aw de mermelada de fresa y optimizar la formulación con base en estos parámetros fisicoquímicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las fresas en estado de consumo comercial, fueron almacenadas a 4 °C,

INTRODUCCIÓN

La palabra mermelada según la mayoría de los historiadores proviene del portugués "marmelo", palabra que hace alusión al membrillo y que originalmente se utilizaba para la preparación de este tipo de productos (INTI, 2009), sin embargo, en la actualidad existe una gran diversidad de frutas que se utilizan para su elaboración, entre ellas se destaca la fresa (*Fragaria xananassa* Duch.) por su sabor, tamaño, color, relación azúcar/ácido, aroma, firmeza (Mazur *et al.*, 2014), no obstante después de la cosecha solo cuenta con un periodo de dos a tres días de vida (Villa-Rojas, 2010) por lo cual es necesario llevarla a bajas temperaturas y condiciones óptimas (Siller-Cepeda *et al.*, 2002), o bien, procesarla para alargar y preservar su vida útil, siendo la elaboración de mermeladas una de las formas más antiguas que se utiliza para conservar este tipo de alimentos. De este proceso se han derivado diferentes productos (conservas, mermeladas y jalea) por la condición en cómo se incorpora la fruta (jugo, pulpa, trozos), de acuerdo con la normatividad del *Codex Alimentarius* existen tres tipos de mermeladas: de agrios; sin frutos cítricos, y tipo jalea (CODEX, 2009). La primera es elaborada con mezcla de frutas cítricas o solo una de ellas y pueden ser adicionadas enteras o en trozos, con toda o una parte de la cáscara, pulpa, puré, jugo o extractos; la segunda es realizada con fruta entera, en trozos o machacadas que

hasta su uso, además se usaron pectina cítrica 150 °SAG (grados sacarométricos) (Droguería Cosmopolita, contenido de ácido galacturónico de 65 % máximo) y azúcar comercial. Para la elaboración de mermelada, las fresas (50 g) se lavaron y 30% de estas se picaron en trozos, el resto se mezcla con agua (5 g) y licuaron, con adición de azúcar (48.2 g), además de semillas de chía (0-0.6 g) y frutos picados a la pulpa obtenida, posteriormente se ajustó el pH con ácido cítrico (0-0.5 g) hasta un intervalo de 3.0 a 3.2 para la correcta gelificación de la pectina (0-1 g), finalmente se adicionó el benzoato de sodio y se calentó durante 15 min a temperatura de 100-110 °C. Se envasó en frascos de vidrio cuando la mezcla está caliente para lograr vacío y almacenó en la oscuridad hasta su análisis.

La optimización del proceso de elaboración de mermelada de fresa se realizó utilizando metodología de superficie de respuestas mediante un diseño de experimentos D-optimal adecuado para regiones experimentales irregulares ocasionadas por los límites mínimos y máximos, los cuales fueron determinados con base en el valor de sustitución de la pectina necesaria para la formación del gel, el diseño incluyó 17 experimentos y tres variables: porcentaje de fresa, pectina y semilla de chía (Cuadro 1), el software utilizado para la generación del diseño así como para el análisis de datos fue Design Expert 10.0.1.

Par la evaluación de parámetros fisicoquímicos de la mermelada, se determinó la consistencia, mediante un Consistómetro Bostwick (Figura 1)

el cual es un equipo donde se coloca la muestra y se mide la distancia a la cual fluye la mermelada por efecto de su propio peso. La muestra se coloca en la compuerta la cual es operada con un muelle y un mecanismo de liberación, lo que permitió que la muestra resbale instantáneamente. La pista está graduada en divisiones de 0.5 cm lo que permite medir de forma precisa el flujo

de la muestra, tomando la lectura de distancia de flujo después de 30 s.

Para determinar la actividad de agua (a_w). Se realiza mediante la medición de la temperatura exacta de condensación del vapor de agua (punto de rocío) que se encuentra directamente relacionada con la a_w de la muestra, por medio de un higrómetro digital Aqua-lab. El registro de grados °Brix (Sólidos Solubles Totales), realizó por el método del refractómetro de Abbe (Natago-NAR 2T). Para ello se colocaron gotas de la muestra entre los prismas y se realizó la lectura. Previamente se verificó la exactitud del refractómetro realizando una medición con agua (índice de refracción (n) 1,3330) a 20 °C, indicando el porcentaje de sólidos en la escala Brix. La determinación de color fue a través de un colorímetro (Konica Minolta CR-400, Japón), sobre cinco diferentes puntos de la mermelada. Las medidas obtenidas se expresaron a partir del sistema CIE-Lab: luminosidad (L^*), intervalo de color rojo-verde(a^*), intervalo de color amarillo-azul (b^*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de los parámetros fisicoquímicos evaluados en la mermelada adicionada con semilla de chía en sustitución de la pectina y cantidad de fruta se presentan en el Cuadro 2, es importante destacar que el color y la consistencia fueron los parámetros en los que se observó mayor efecto.

El Cuadro 3, presenta los resultados obtenidos del análisis de varianza de las respuestas

evaluadas mediante el diseño de experimentos, indicando que el porcentaje de variación (R y R^2) de cada una de ellas puede ser explicado por el modelo seleccionado, con ello se puede determinar que para la determinación de color (L , a^* , b^*), a_w , °Brix y consistencia, el cambio y la relación existente entre la concentración de pectina, fruta y semilla de chía tienen un efecto importante. En



Figura 1. Consistómetro de Bostwick.

Cuadro 1. Matriz del diseño de experimentos para la evaluación de la sustitución de fruta, pectina y semillas de chía (*Salvia hispánica* L.).

	Experimento																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Fruta	50	50	49	49	50	50	49	50	50	50	50	50	50	49	49	50	50
Pectina	0.24	1	0.7	0.93	1	0.68	0.9	0.5	0.41	0.75	0	0.5	0.48	1	1	0	0
Semilla	0.6	0	0.6	0.43	0	0.3	0.24	0	0.29	0	0.5	0	0.58	0.6	0.6	0.5	0.5

Cuadro 2. Parámetros fisicoquímicos evaluados en las mermeladas de fresa y cambios asociados a la adición de semilla de chía (*Salvia hispánica* L.) y pectina.

Experimento	Consistencia	a _w	°Brix	L	a*	b*
1	1.50	0.83	71.00	31.23	14.49	10.62
2	1.10	0.87	69.00	36.29	26.79	20.84
3	0.80	0.84	67.00	32.02	13.80	11.00
4	0.60	0.84	70.00	31.02	16.44	11.48
5	1.10	0.87	69.00	35.00	25.00	20.50
6	1.70	0.84	69.00	32.44	18.68	13.61
7	1.20	0.85	72.50	32.57	20.78	14.84
8	1.80	0.88	70.00	38.00	27.00	22.00
9	1.80	0.84	67.00	33.00	19.00	14.50
10	2.00	0.86	69.00	36.00	26.00	20.00
11	0.90	0.84	74.00	32.00	16.00	11.00
12	1.90	0.86	67.00	38.00	25.00	22.00
13	1.70	0.83	67.00	30.00	15.00	12.00
14	0.50	0.85	72.00	31.00	14.00	13.00
15	0.50	0.85	72.00	30.50	13.10	11.80
16	0.90	0.84	71.50	32.00	14.50	13.60
17	0.90	0.85	70.50	31.50	13.00	11.90

cuanto al valor de R², se puede observar que el valor es bajo para la determinación de °Brix indicando que las relaciones entre los valores observados con los predichos por el modelo no son altos; sin embargo, valores de precisión adecuada mayores a 4.0 indican que el modelo puede ser utilizado y predecir la respuesta en el espacio del diseño.

En la Figura 2A, se observa el efecto en la modificación de los ingredientes en la consistencia de la mermelada, el cambio de color en la imagen de azul a rojo indica valores desde 0.6 hasta 2 cm respectivamente, pasando por verde y amarillo que denota valores intermedios. Se puede observar que la variable con mayor efecto es C, lo cual se puede corroborar con la ecuación predicha por el modelo mostrado en el Cuadro 3, donde A, B y C tienen signos positivos, los cuales suman al valor de consistencia, pero el que mayor coeficiente presentó fue C, por lo cual, a mayor concentración de semilla de chía, ésta será más fluida. La Figura 2 B muestra que el valor mayor de a_w es 0.88 (color rojo); sin embargo, la densidad de expe-

Cuadro 3. Resultados del ANOVA para cada una de las respuestas evaluadas.

Respuesta	Modelo	R	R ²	Precisión adecuada
Consistencia	Cuadrático	0.89351997	0.84511996	13.2121236
a _w	Cuadrático	0.89023918	0.84034791	11.5375457
°Brix	Cúbico	0.84581222	0.64757079	5.91778782
L	Cuadrático	0.96242788	0.94534964	19.3141637
a*	Linear	0.96673349	0.96198113	29.5041221
b*	Cuadrático	0.97423647	0.96252578	22.1147958

rimentos con estos resultados es mínima, por lo cual hay una mayor zona de color azul que corresponde a los datos con valores cercanos a 0.83, y es el intervalo en el cual se define para las mermeladas elaboradas son al que normalmente presenta este tipo de producto (García-Martínez y col., 2002); sin embargo, para alargar la vida de anaquel y evitar el crecimiento de hongos y levaduras es mejor que se encuentre cercano a 0.83 (Labuza, 1980).

En lo que respecta a los °Brix se puede determinar que a mayor concentración de fruta y semillas de chía, este valor aumenta (zona verde, amarilla y roja de la Figura 2 C), lo cual es necesario para una adecuada formación del gel, debido a que se ha reportado que para un intervalo de 68-72, el pH óptimo para la formación de éste es de 3.1-3.3, y se evita el crecimiento de microorganismos debido a una reducción de la a_w (D O’Beirne, 1993; Garrido, Lozano y Genovese, 2015).

En la gráfica de contornos de color correspondiente al parámetro L (Figura 3 A), se puede observar que el valor se incrementa con la adición de semillas de chía (zona amarillo-rojo), lo cual indica que la mermelada es más oscura. Los valores del plano cromático a*, b* representados en la Figura 3 B y 3 C, indican que la mermelada de fresa presenta coordenadas positivas, con una mezcla de rojo-amarillo, y disminuyen a mayor concentración de fresa, estos valores son similares a los reportados por Morales-Carranza (2010). En la Figura 3 se presentan las mermeladas obtenidas con el máximo y mínimo de concentración de semilla de chía; sin embargo, el efecto de los trozos de

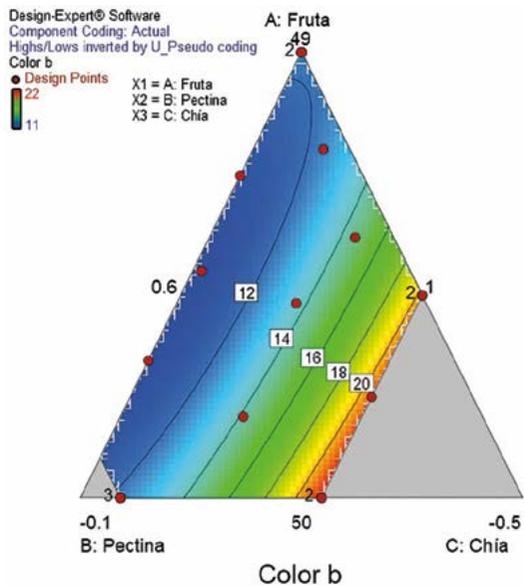
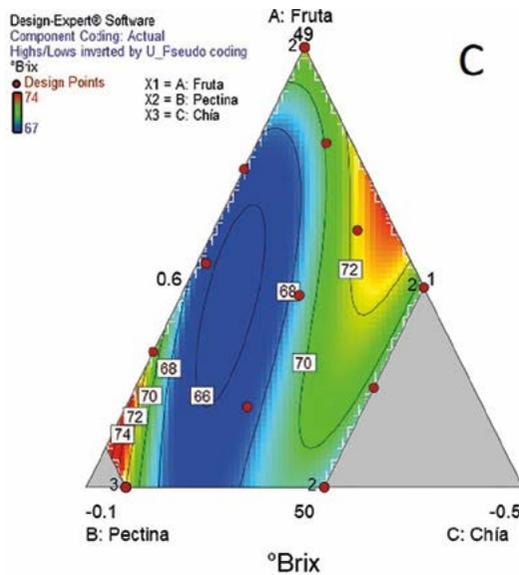
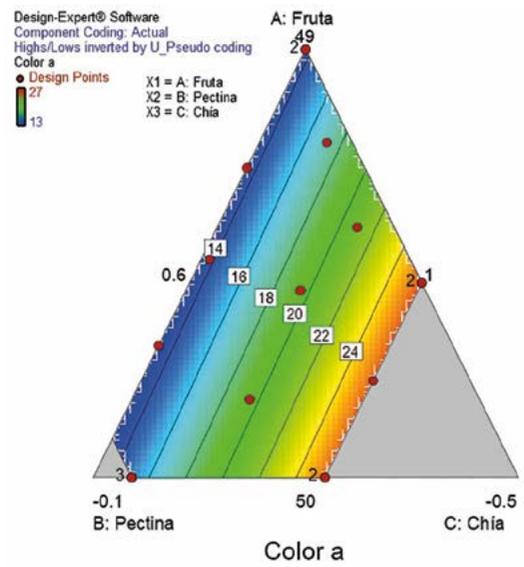
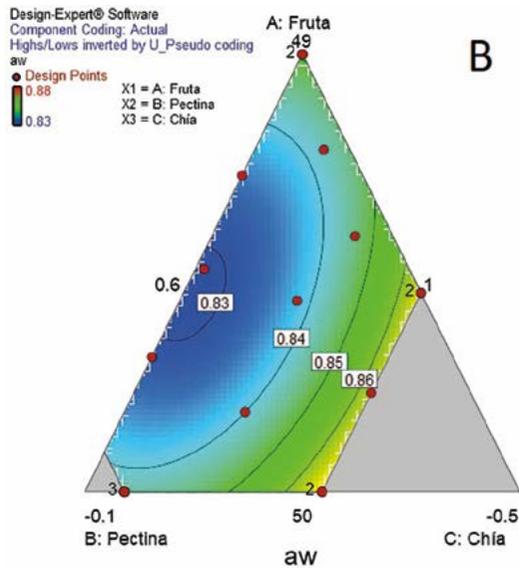
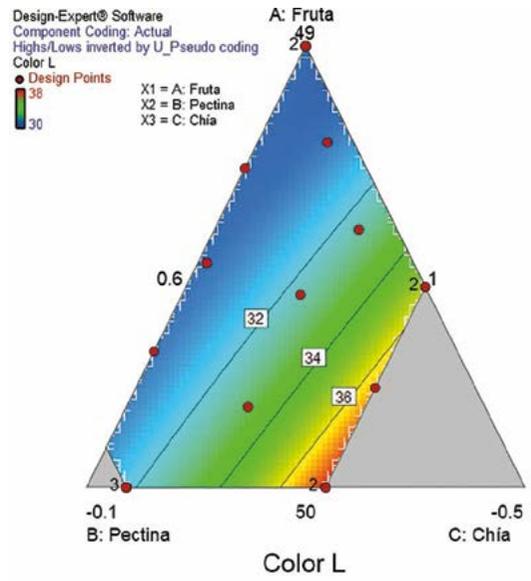
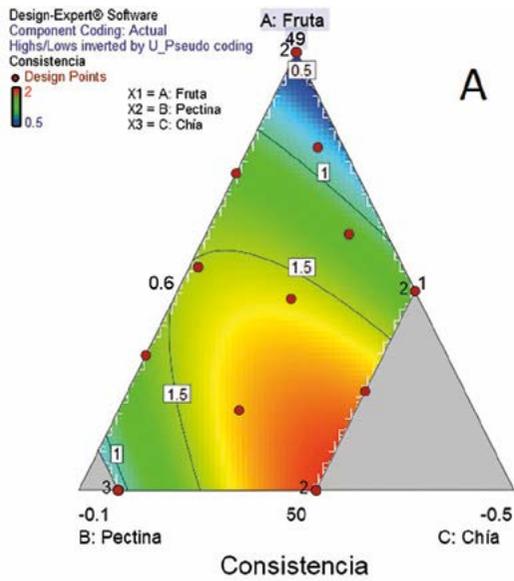


Figura 2. Gráfica de contornos de las respuestas de consistencia, a_w y °Brix.

Figura 3. Gráfica de contornos de las respuestas de color (L, a^* , b^*).

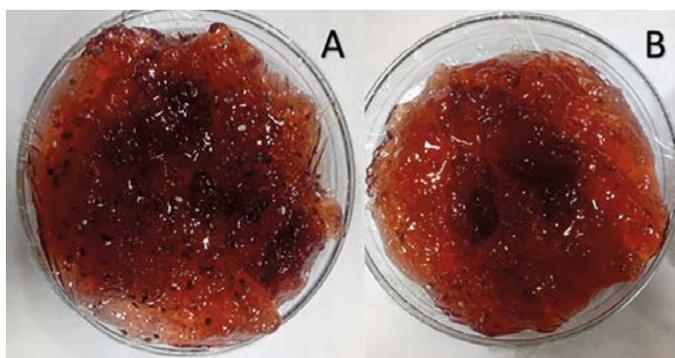


Figura 4. Mermelada de Fresa. A) experimento 14, B) experimento 5.

fruta puede generar la diferencia obtenida en los parámetros de color.

El Cuadro 4 presenta las ecuaciones que pueden predecir las respuestas en función de los factores evaluados, así como aquellos que más influyen en la a_w , °Brix, L y a^* , mostrando un efecto antagonico al combinar los factores AB y BC, los cuales presentan signo negativo.

Para obtener la formulación óptima, mediante una optimización simultánea de la mermelada de fresa adicionada con semilla de chía en función de las respuestas, los parámetros fisicoquímicos evaluados fueron restringidos en función de las características establecidas en la normatividad, así como en los criterios que indiquen las mejores características de calidad, esto se realizó mediante el programa Design-Expert® 10.0.1. Los valores de las variables evaluadas (fruta, pectina y semilla de chía), °Brix y color (L, a^* y b^*) se mantuvieron en el intervalo, en lo que respecta a la a_w mientras que para consistencia, el valor fue el mínimo, generando una formulación con una deseabilidad de 0.72. Lo anterior permitió encontrar el siguiente conjunto de condiciones con el cual se cumple el objetivo: 50 g de fresa, 0.13 g de pectina y 0.6 g de chía. Aun cuando no se realizó la validación de esta formulación, se pre-

sentan los resultados teóricos del modelo matemático: consistencia (0.13 cm/ s), a_w (0.83), °brix (74), L (31), a^* (13), b^* (11).

CONCLUSIONES

La metodología de superficie de respuesta ha mostrado que las evaluaciones fisicoquímicas (a_w , °Brix, consistencia y color) realizadas a la mermelada de fresa se ven afectadas por la concentración de pectina y contenido de fruta; sin embargo, la adición de semilla de chía (*S. hispánica* L.) promueve cambios en el color, particularmente en la luminosidad así como en la tasa de fluidez o consistencia, por lo cual se sugiere que este parámetro de calidad sea analizado mediante un ensayo que permita predecir la calidad del producto y complementar la información obtenida. Es importante destacar que el uso de modelos matemáticos generó la formulación óptima así como la predicción de las respuestas.

LITERATURA CITADA

- Belović M., Torbica A., Pajić -Lijaković I., Mastilović J. 2017. Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. Food Chemistry, 237 1226-1233.
- CODEX. 2009. Codex standard 296: Standard for jams, jellies and marmalades.
- D O'Beirne. 1993. Jams and Preserves: Methods of Manufacture; Chemistry of Manufacture, University of Limerick, Limerick, Ireland. Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition, Academic Press.
- García-Martínez E., Ruiz-Díaz G., Martínez-Monzó J., Camacho M.M., Martínez-Navarrete N., Chiralt A. 2002. Jam manufacture with osmodehydrated fruit. Food Research International 35, 301-306.
- Garrido J.I., Lozano J.E., Genovese D.B. 2015. Effect of formulation variables on rheology, texture, colour, and acceptability of apple jelly: Modelling and optimization. LWT - Food Science and Technology. 62, 325-332.
- Labuza T. P. 1980. The effect of water activity on reaction kinetics of food deterioration. Food Technology, 34(4), 36-41.
- Mazur S. P., Nes A., Wold A.-B., Remberg S. F., Martinsen B. K., Aaby K. 2014. Effects of ripeness and cultivar on chemical composition

Cuadro 4. Ecuaciones de predicción para las respuestas evaluadas a la mermelada de fresa.

$$\text{Consistencia} = +0.35*A + 0.57*B + 1.66*C + 4.19*AB + 0.33*AC + 3.11*BC$$

$$a_w = +0.85*A + 0.84*B + 0.95*C - 0.074*AB - 0.15*AC - 0.13*BC$$

$$°\text{Brix} = +71.95*A + 82.16*B - 35.05*C - 37.38*AB + 211.75*AC + 182.92*BC - 261.09*ABC - 0.88*AB(A-B) - 128.31*AC(A-C) - 216.43*BC(B-C)$$

$$L = +30.95*A + 31.25*B + 49.05*C - 0.56*AB - 21.37*AC - 12.68*BC$$

$$a^* = +13.66*A + 12.95*B + 36.06*C$$

$$b = +12.23*A + 11.64*B + 43.17*C - 3.46*AB - 35.20*AC - 28.09*BC$$

- of strawberry (*Fragaria xananassa* Duch.) fruits and their suitability for jam production as a stable product at different storage temperatures. *Food Chemistry* 146, 412–422.
- Morales-Carranza D. A. 2010. Desarrollo y evaluación de una mermelada de fresa (*Fragaria vesca* L.) como ingrediente para el yogur de fresa de la Planta de Lácteos de Zamorano. Proyecto especial. Zamorano, Honduras.
- NMX-F-131-1982. Alimentos para humanos. Frutas y derivados. Mermelada de fresa. Foods for humans. Fruits and derivatives Strawberry marmalade. Normas Mexicanas. Dirección General De Normas.
- Salgado-Cruz M. de la P., Calderón-Dominguez G., Chanona-Pérez J., Farrera-Rebollo R., Méndez-Méndez J., Díaz-Ramírez M. 2013. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study. *Industrial Crops and Products*, 51, 453-462.
- Siller-Cepeda J.H., Báez-Sañudo M.A. Sañudo-Barajas A., Báez-Sañudo R. 2002. "Manual de Buenas Prácticas Agrícolas". SAGARPA, México.
- Villa-Rojas R. 2010. Desarrollo y evaluación de tratamientos con microondas de fresas. Tesis profesional Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México.



PORO DE BALANCÁN CHEESE: EFFECT OF THE ELABORATION PROCESS ON THE SAFETY, SENSORIAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES

QUESO DE PORO DE BALANCÁN: EFECTO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES DE INOCUIDAD SENSORIAL Y FUNCIONALES

Villanueva-Carvajal, A.²; Jiménez-Guzmán, J.¹; García-Garibay, M.¹; Díaz-Ramírez, M.^{1*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ²Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus Universitario "El Cerrillo" A.P. 435, Toluca, Estado de México, C.P. 50200, México.

*Autor de correspondencia: marea131079@gmail.com

ABSTRACT

Objective: To gather written information from the literature about the process and safety, functionality and sensorial quality characteristics of this food product in order to make a general description of the effect of such a process on these properties.

Design/methodology/approach: The methodology consisted in the search through scientific publications, statistical databases and information on government sites in order to obtain the status of the production and consumption of traditional foods, particularly the Poro cheese.

Results: Because of moisture and temperature conditions during storage time (12 days) Poro cheese could be considered as a ripened cheese, although it is considered a fresh cheese. Among its sensorial characteristics, it is described as a salty-sour cheese, with an intense aroma and moist-dry texture. On the other hand, producers do not have enough economic resources to improve their facilities and utensils, and due to the lack of training and knowledge it could be said that Poro cheese food safety cannot be guaranteed.

Study limitations/implications: It is necessary to run more studies in order to characterize the microbiota present in Poro cheese. Besides, it would be advisable to train the producers in order to control adequately the process so that food safety parameters required by the current legislation could be accomplished.

Findings/conclusions: The production and consumption of Poro cheese is convenient in order to achieve protection of cultural and gastronomic regional traditions, and if it could be possible to comply with the sanitary specifications established by regulations, the region's economic development could also be improved.

Keywords: Milk, functional properties, dairy products

RESUMEN

Objetivo: Recabar la información que existe en la literatura sobre el proceso y las características de inocuidad, funcionalidad y calidad sensorial de este alimento para dar a conocer un panorama general del efecto de dicho proceso en estas propiedades.



Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 49-52.

Recibido: octubre, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.

Diseño/metodología/aproximación: La metodología consistió en la búsqueda a través de publicaciones científicas, bases de datos estadísticas e información en sitios gubernamentales con el fin de obtener el estado que guarda la producción y consumo de alimentos tradicionales, particularmente el queso de Poro.

Resultados: Por las condiciones de humedad y temperatura (12 d), podría considerarse como un queso madurado; sin embargo, se considera un queso fresco. Dentro de sus características sensoriales se describe como de sabor ácido-salado, aroma intenso, textura húmeda-seca. Por otro lado, los productores no cuentan con los recursos económicos para mejorar sus instalaciones y utensilios, y por la falta de capacitación y conocimiento al respecto podría decirse que la inocuidad del queso de Poro se no puede garantizarse.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Es necesario realizar más estudios para caracterizar la microbiota presente en el queso de Poro. Además, sería recomendable capacitar a los productores para controlar adecuadamente el proceso con el fin de cumplir con los parámetros de inocuidad requeridos por la legislación vigente.

Hallazgos/conclusiones: La producción y consumo de queso de Poro resulta conveniente con fines de protección de las tradiciones culturales y gastronómicas de la región y si fuera posible que cumpliera con las especificaciones sanitarias establecidas por la reglamentación, se apoyaría también el desarrollo económico regional.

Palabras clave: Leche, propiedades funcionales, derivados lácteos

rebaños de cruce cebú-pardo suizo (*Bos indicus* × *Bos Taurus*) criados por pequeños productores y diseñado hace aproximadamente cien años con el fin de darle una vida de anaquel lo suficientemente larga para permitir su comercialización en la ciudad de Villahermosa, Tabasco, México (Díaz-Ramírez *et al.*, 2016). En su proceso de elaboración se utiliza leche cruda y se inocula con el suero derivado de la producción del día anterior, posteriormente es prensado, salado y oreado, se recubre con parafina y papel celofán amarillo, éste se presenta al mercado en piezas pequeñas, con un peso que oscila entre 150 g y 300 g (Alejo-Martínez *et al.*, 2015). Por las condiciones de humedad y temperatura durante el tiempo de almacenamiento (aproximadamente 12 d), podría considerarse como un queso madurado; sin embargo, se considera como queso fresco. Dentro de los microorganismos provenientes del queso de Poro que se han caracterizado se identifica a *Macroccoccus caseolyticus*; algunas cepas de *Bacillus*, *Acinetobacter* y *Enhydrobacter* llegando a registrar también a *Staphylococcus aureus* (Aldrete-Tapia *et al.*, 2014). Las cepas que se han asociado a las características sensoriales de aroma y sabor del queso son *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii*, debido a que se encuentran en mayor concentración tanto en queso como en suero (Aldrete-Tapia *et al.*, 2014). Dentro de sus características sensoriales se describe como un queso con sabor ácido-salado, aroma intenso, textura húmeda-seca dependiente del tiempo de almacenamiento (Cervantes-Escoto *et al.*, 2008) y apariencia caracterizada por la presencia de poros, los cuales son producto del gas generado por

INTRODUCCIÓN

El consumo de quesos en México, incluye quesos producidos industrialmente y quesos producidos de forma tradicional. La producción y consumo de éstos últimos, ocurre en casi todo territorio nacional, y algunos, tales como el “queso Oaxaca”, quesillo o queso de hebra se produce en todo México independientemente de que al parecer su origen sea Etna, Oaxaca, México (Díaz-Ramírez *et al.*, 2011). Otros quesos ampliamente producidos y consumidos en México son el queso panela, ranchero, tipo Manchego, fresco, doble crema, entre otros. Al mismo tiempo que se puede encontrar gran variedad de quesos que no poseen características distintivas del lugar donde fueron producidos, o quesos “genéricos”. Existen también quesos que son representativos de la región específica donde se producen y que además conservan el proceso tradicional de producción, y utilizan ingredientes, herramientas y materiales según lo que indica el conocimiento empírico heredado generacionalmente. Tal es el caso del queso de “Bola” de Ocosingo, Chiapas; queso “Menonita” de Chihuahua; queso “Cotija” de Jalisco y Michoacán; queso de “Hoja” de Veracruz, y queso de Poro de Tabasco, por mencionar solamente algunos. En relación a éste último, se produce en los municipios de Balancán, Tenosique, Jonuta, y Emiliano Zapata en Tabasco, México (González-Córdova *et al.*, 2016); actualmente, este queso tiene la Marca Colectiva denominada “Queso de Poro de Balancán, Región de Origen” que otorga el IMPI (Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial) con número de registro 1271541 ante ese instituto, y es un queso tradicional elaborado con leche obtenida de

los microorganismos presentes, en gran medida provenientes de la leche y del suero utilizados en su fabricación (Fernández-Estrada y Escalona-Buendía, 2013). Sus características físico-químicas de acuerdo a Pérez (2012) son: valores de pH cercanos a 4.0, concentración de cloruro de sodio de 3.96 % a 4.27%, actividad de agua entre 0.93 y 0.96 y acidez entre 0.54 y 0.87. En un estudio reciente de Cervantes-Escoto et al. (2017), mediante encuestas para saber la percepción del significado y preferencia del consumo del queso de Poro, se encontró que la mayoría de los encuestados hicieron mención de los siguientes atributos: "es un queso agradable, delicioso, sabroso, exquisito, rico, entre otras", y algunas otras expresiones lo señalaron como "es un queso nutritivo, ácido, poco salado, suave, dura mucho". Los autores señalan que la preferencia se debe en gran parte a la percepción sensorial pero también a la asociación del lugar de origen y que ésta es independiente del conocimiento que tengan los consumidores sobre el producto. Como ya se mencionó anteriormente varios parámetros sensoriales se atribuyen a los microorganismos presentes, por ejemplo, en el caso de la alta acidez, se debe a la presencia de bacterias ácido lácticas, cuya concentración es similar a la de los quesos a los que se le han adicionado probióticos (Alejo-Martínez et al., 2015), esto representa una ventaja en cuanto a la seguridad del alimento, ya que debido a que este parámetro se incrementa, el crecimiento de organismos patógenos como coliformes totales y *Staphylococcus aureus* se detiene. Otras variables, tales como la textura dependen también del proceso, en específico de las condiciones del almacenamiento (tiempo, humedad y temperatura), esta característica va desde una textura húmeda con apariencia de separación en "capas" cuando es de reciente producción, hasta un poco seca y "desmoronable" conforme aumenta el tiempo de almacenamiento antes de la venta.

En relación a la inocuidad, un estudio realizado por Díaz-Ramírez et al. (2016) donde se evaluó el seguimiento de las Buenas Prácticas de Manufactura de dos productores de queso de Poro, se identificó que en ambos casos no se aplica del seguimiento de dichas prácticas, en parte debido a que los productores no cuentan con los recursos económicos para mejorar sus instalaciones y utensilios, y debido también a la falta de capacitación y conocimiento al respecto. Debido a lo anterior la inocuidad del producto se ve comprometida, además se ha demostrado la presencia de microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus* y coliformes totales (Aldrete-Tapia et al., 2014). Estos microorganismos son

un indicador de la falta de higiene del proceso de elaboración del queso de poro y pueden ser la causa del desarrollo de alguna enfermedad transmitida por alimentos (ETAS). A pesar de ello, los consumidores no perciben un riesgo en su consumo (Cervantes-Escoto et al., 2017); sin embargo, se hace indispensable el seguimiento y capacitación a productores en el cumplimiento de las buenas prácticas de manufactura así como en la implementación de sistemas de seguridad alimentaria más robustos como el sistema HACCP para que el consumo y producción del queso de poro se preserve en nuestro país.

Dentro de los microorganismos que se han encontrado en este producto se encuentran *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* (Aldrete-Tapia et al., 2014). Estos microorganismos han demostrado actividad probiótica. Los probióticos son microorganismos vivos que al ser consumidos en cantidades apropiadas proporcionan beneficios a la salud del huésped (Guarner et al., 2011) debido a diferentes mecanismos, como la acidificación de la luz intestinal, liberación de sustancias que inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos, efectos inmu-nomoduladores, hipocolesterolémicos y anticancerígenos (Lorente y Serra, 2001; Cortés-Sánchez et al., 2014). Dado lo anterior, es probable que el consumo del queso de Poro sea considerado como un alimento funcional que no sólo nutra sino que tenga un beneficio a la salud del consumidor, siempre y cuando, se mejore su forma de elaboración, conservación y presentación.

CONCLUSIONES

El queso de Poro es aceptado por el consumidor, en parte por sus características sensoriales, atribuidas a presencia de ciertos microorganismos; sin embargo, su proceso actual compromete la seguridad de su consumo, por lo cual es indispensable el seguimiento, capacitación y apoyo a los productores para que se garantice y preserve el consumo del queso de Poro en nuestro país.

LITERATURA CITADA

- Aldrete-Tapia A., Escobar-Ramírez M.C., Tamplin M.L., Hernández-Iturriaga M. 2014. High-throughput sequencing of microbial communities in Poro cheese, an artisanal Mexican cheese. *Food microbiology* 44: 136-141.
- Alejo-Martínez K., Ortiz-Hernández M., Recino-Metelín B.R., González-Cortés N., Jiménez-Vera R. 2015. Tiempo de maduración y perfil microbiológico del queso de poro artesanal. *Revista Iberoamericana de Ciencias* 2:15-24.

- Cervantes-Escoto F., Patiño-Delgado A. L., Cesin-Vargas A., González-Santiago M. 2017. Innovando los estudios de mercado de los quesos artesanales. El valor simbólico del queso de poro. *Estudios sociales* 27(49): 67-91.
- Cervantes-Escoto F., Villegas De Gante A., Cesin-Vargas A., Espinoza-Ortega A. 2008. Los quesos mexicanos genuinos, patrimonio cultural que debe rescatarse. Mundi-Prensa México, Universidad Autónoma Chapingo, Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Cortés-Sánchez A.D.J., Guadarrama L.M., Díaz-Ramírez M. 2014. Producción de Biomasa a partir de *Aspergillus oryzae* en cultivo sumergido. *Biocetnia* 16(3): 11-15.
- Díaz-Ramírez M., García-Garibay M., Jiménez-Guzmán J., Villanueva-Carvajal A. 2016. Inocuidad en alimentos tradicionales: el queso de Poro de Balancán como un caso de estudio. *Estudios Sociales*, 25(47): 89-111.
- Domínguez-López A., Villanueva-Carvajal A., Arriaga-Jordán C. M., Espinoza-Ortega A. 2011. Alimentos artesanales y tradicionales: el queso Oaxaca como un caso de estudio del Centro de México. *Estudios sociales* 19(38): 165-193.
- Fernández-Estrada A.V., Escalona-Buendía H.B. 2013. "Caracterización de compuestos volátiles por SPME – GC y su relación con perfiles descriptivos del Queso de Poro de Balancán, Tabasco". Tesis de Especialización en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa.
- González-Córdova A.F., Yescas C., Ortiz-Estrada Á.M., Hernández-Mendoza A., Vallejo-Cordoba B. 2016. Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science* 99(5): 3250-3262.
- Guarner F., Khan A.G., Garisch J., Eliakim R., Gangl A., Thomson A., Kim N. 2011. Probióticos y prebióticos. Guía Práctica de la Organización Mundial de Gastroenterología: Probióticos y prebióticos. 1-29.
- Lorente F.B., Serra D.J. 2001. Alimentos funcionales: probióticos. *Acta Pediátrica Española*, 59: 150-5.
- Pérez F. 2012. Caracterización de parámetros físico-químicos y calidad microbiológica del queso de poro del municipio de Balancán, Tabasco, México. Tesis de la Maestría Producción Agroalimentaria en el Trópico. Colegio de Postgraduados, Campus Tabasco.



Legionella spp., A HAZARD TO HUMAN HEALTH

Legionella spp., UN PELIGRO PARA LA SALUD HUMANA

Cortés-Sánchez A. De J.^{1*}; Espinosa-Chaurand, L.D.¹; Díaz-Ramírez, M.²

¹Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). Unidad Nayarit del Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (UNCIBNOR+). Calle Dos No. 23. Cd. Del Conocimiento. Av. Emilio M. González, Cd. Industrial. C.P. 63173, Tepic, Nayarit, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México.

*Autor de correspondencia: alecortes_1@hotmail.com

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to provide a review that gives a general perspective of legionellosis and the different factors associated with this disease, such as the incidence, causal agents, treatment, control and prevention methods used globally in order to safeguard public health.

Methodology: To develop this document, the search and analysis of pertinent information was carried out in different scientific and academic databases such as Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Scholar, among others.

Results: Legionellosis is caused by species of the genus *Legionella* spp., with *L. pneumophila* being commonly associated to clinical cases. Analytical methods have been developed for their detection, as well as sanitary regulations for water and hydraulic facilities for human use, in order to mitigate their impact on the population.

Implications in the study: The causal agents of legionellosis inhabit aquatic ecosystems, and are capable of resisting diverse physicochemical conditions; therefore, they have been detected in hydraulic systems and equipment for human use, thus generating their dispersion and potential infection when inhaled through small drops of water (sprays).

Conclusions: *Legionella* spp. is an emerging pathogen of importance in public health mainly in developed countries, due to its incidence, complications and mortality. It has been established that the prevention and control of legionellosis require joint actions in the microbiological control of water, development, dissemination, implementation and monitoring of the application of regular cleaning and disinfection programs by governmental entities, international health organizations, academia, industry and the general population.

Keywords: Legionellosis, water, hydraulic facilities, public health.

RESUMEN

Objetivo: Brindar una revisión que aporte una perspectiva general de la legionelosis y de los diferentes factores asociados a esta enfermedad tales como la incidencia, agentes causales, terapéutica, métodos de control y prevención utilizados a nivel global a fin de salvaguardar la salud pública.

Metodología: Para el desarrollo del presente documento se realizó la búsqueda y análisis de información pertinente en diferentes bases de datos científicas y académicas como Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Académico entre otras.

Resultados: La legionelosis es causada por especies del género *Legionella* spp., siendo *L. pneumophila* comúnmente asociada a casos clínicos. Se han desarrollado métodos analíticos para su detección, así como regulaciones sanitarias al agua e instalaciones hidráulicas para uso humano, a fin de mitigar su incidencia en la población.

Implicaciones en el estudio: Los agentes causales de legionelosis habitan los ecosistemas acuáticos, y son capaces de resistir diversas condiciones fisicoquímicas por ende se han detectado en sistemas y equipos hidráulicos de uso humano, generando así su dispersión y potencial infección al ser inhaladas a través de pequeñas gotas de agua (aerosoles).

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 53-58.

Recibido: julio, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.

Conclusiones: *Legionella* spp., es un patógeno emergente de importancia en salud pública principalmente en países desarrollados, debido a su incidencia, complicaciones y mortalidad. Se ha establecido que la prevención y control de legionelosis requieren de acciones conjuntas en el control microbiológico del agua, desarrollo, difusión, implementación y vigilancia en la aplicación de programas regulares de limpieza y desinfección por parte de entidades gubernamentales, organizaciones internacionales de salud, academia, industria y población general.

Palabras clave: Legionelosis, agua, instalaciones hidráulicas, salud pública.

INTRODUCCIÓN

El agua es un componente esencial para la vida, y constituye un elemento clave para el desarrollo humano en materia de seguridad e inocuidad alimentaria, nutrición, economía y por ende de la salud de la población (Pulido *et al.*, 2015; CSA, 2015). Por lo tanto, es indispensable disponer de agua en calidad y cantidad adecuada ya sea para beber, actividades de saneamiento, producción alimentaria (pesca, acuicultura, agricultura y ganadería), procesamiento, preparación de los alimentos, por lo cual es primordial evaluar si es o no fuente de microorganismos patógenos para el ser humano (bacterias, virus, parásitos y hongos) como *Salmonella* spp., *E. coli*, *Vibrio* spp., *Aeromonas* spp., *Legionella* spp., entre otros (Romero, 2007; Pulido *et al.*, 2015; CSA, 2015; CDC, 2018).

Legionella spp.

La familia *Legionellaceae* se encuentra constituida por tres géneros que son el *Legionella*, *Tatlockia* y *Fluoribacter*. Las especies del género *Legionella* spp., son microorganismos Gram negativos, de forma bacilar, móviles, aerobios, termotolerantes (20 °C-60 °C) que se inactivan por arriba de 70 °C, se localizan en medio ambiente acuático como lagos, ríos, arroyos, lodos, aguas termales además de los sistemas de agua artificiales, colonizando instalaciones de suministro de agua y de la red de distribución y otros sistemas que requieren del agua para su funcionamiento, tales como torres de refrigeración, condensadores adiabáticos y evaporativos, instalaciones termales, piscinas, fuentes ornamentales entre otros (Ausina, 2005; Romero, 2007; Duran y Valero, 2010; Gea *et al.*, 2012; CDC, 2018; WHO, 2016; Lösch y Merino,

2016). El género *Legionella*, está integrado por más de 50 especies, y al momento hay 71 serotipos provenientes de muestras humanas y ambientales (Duran y Valero, 2010; Borges *et al.*, 2012; Lösch y Merino, 2016). Varias de ellas son patógenas como *L. micdadei*, *L. dumoffii*, *L. longbeachae*, *L. bozemanni* y *L. pneumophila*, siendo esta última la de mayor importancia desde el punto de vista clínico (Sandrea *et al.*, 2015; Lösch y Merino, 2016; Galindo *et al.*, 2017), ésta es un bacilo facultativo de 0.3 a 0.9 μm de ancho y 1.5 a 15 μm de largo, localizado en ecosistemas acuáticos estando como formas planctónicas de vida libre, parásitos intracelulares de protozoos (*Tetrahymena*) y amebas (*Acanthamoeba*, *Hartmannella*, *Naegleria*, *Vahlkampfia* y *Echinamoeba*) que actúan como amplificadores naturales o como habitantes de biopelículas de población mixta. Esta bacteria presenta al menos 15 serogrupos diferentes, y es responsable con mayor frecuencia en las infecciones por legionelosis en el ser humano, resaltando los grupos 1, 4 y 6 por estar mayormente implicados (Ausina, 2005; Romero, 2007; Borges *et al.*, 2012; Ulloa, 2008; Duran y Valero, 2010; Sandrea *et al.*, 2015; Galindo *et al.*, 2017).

Legionelosis. Es una enfermedad producida principalmente por *L. pneumophila*; la infección puede ocurrir a nivel hospitalario o comunitario como brotes o casos aislados originada por la inhalación de aerosoles (dispersión de gotas de agua en el aire), producidos en conjunto con pulverizaciones, chorros o nebulizaciones de agua con bacterias; presenta un periodo de incubación de dos a 10 días, o hasta por tres semanas; su tasa de mortalidad es desde 5% a 30%, los brotes son más frecuentes en la temporada de verano e inicio del otoño, pero los casos aislados pueden ocurrir en cualquier época del año (Ausina, 2005; Duran y Valero, 2010; Diaz *et al.*, 2011; Borges *et al.*, 2012; Gea *et al.*, 2012; Manzanares *et al.*, 2014; Sandrea *et al.*, 2015; WHO, 2016; Lösch y Merino, 2016; Galindo *et al.*, 2017; CDC, 2018). La enfermedad presenta dos formas clínicas; la primera o enfermedad del legionario (neumónica) cuyos síntomas son fiebre, malestar general, debilidad, dolor de cabeza, tos, diarrea, dolor pleural y muscular, y la segunda como fiebre de Pontiac (no neumónica autolimitada). También se ha asociado a otros cuadros clínicos, tales como neumonía de Pittsburg, sinusitis, pericarditis, peritonitis e infecciones de heridas. Existen grupos vulnerables de adquirir esta enfermedad como pacientes hospitalizados, inmunodeprimidos, bajo tratamiento quimioterapéutico, adultos mayores de 50 años, diabéticos, alcoholismo, y recién nacidos durante los partos en el agua y personas que tra-

bajan o viven cerca de torres de enfriamiento, piscinas, entre otros. Aún no se ha reportado una transmisión directa de persona a persona, ni la existencia hasta ahora de algún reservorio animal (Ausina, 2005; Duran y Valero, 2010; Díaz et al., 2011; Borges et al., 2012; Gea et al., 2012; Manzanares et al., 2014; Sandrea et al., 2015; WHO, 2016; Lösch y Merino, 2016; CDC, 2018). El tratamiento aplicado con mayor eficacia es usando macrólidos, quinolonas o rifampicina (Romero, 2007; Ulloa, 2008; Ausina, 2005), pero algunas investigaciones han reportado, el aislamiento en casos clínicos, ecosistemas acuáticos y artificiales de cepas de *Legionella* spp., resistentes a antibióticos, tales como la ciprofloxacina y eritromicina (Bruin et al., 2014). Además se han sugerido mecanismos de resistencia contra quinolonas (Almahmoud et al., 2009), por ello, este microorganismo tiene la atención en materia de salud pública por las complicaciones que se pueden presentar en el tratamiento de la enfermedad.

Legionelosis en el mundo. La legionelosis es considerada una enfermedad de baja ocurrencia y distribución mundial, pero en países como Inglaterra, Holanda, España, Japón, Portugal, EUA, Australia entre otros, es tema de relevancia epidemiológica y salud pública como resultado del número de brotes implicados en la comunidad, hospitales y hoteles (Rojas y Figueras, 2006; Gea et al., 2012; Sandrea et al., 2015; Lösch y Merino, 2016). *L. pneumophila* es considerada responsable del 1 al 15% de los casos de neumonías adquiridas en la comunidad, del 5 al 10% de neumonías del adulto y del 1% en menores de 15 años (Duran y Valero, 2010). Tan solo en EUA se estiman de

8,000 a 18,000 hospitalizaciones al año por legionelosis, además entre el año 2000 al 2011 el CDC reportó un aumento del 279% pasando de 1100 casos en el año 2000 a 4202 en el 2011 (Sandrea et al., 2015). *L. pneumophila* serogrupo 1 es responsable de más del 90% de legionelosis en Norteamérica y Europa donde la tasa de mortalidad es aproximadamente de 26% (Bruin et al., 2014; Galindo et al., 2017). Países como España destacan por ser más afectados por la enfermedad, ya que durante el periodo 1999 a 2009 se declararon 501 brotes de legionelosis de los cuales 340 fueron en el ámbito comunitario, 32 nosocomiales, y 129 se asociaron a viajes, de estos 55 fueron declarados por la red europea de vigilancia de legionelosis asociadas por de viajar. Siendo finalmente 3,402 personas afectadas de las que 2,918 requirieron hospitalización y 138 fueron decesos (Cano, 2010). Se estima que en este país el 50% de los hoteles están colonizados por *Legionella* spp., en alguna parte de la red de agua esto es similar en proporciones detectadas en otras partes del mundo, reflejando la distribución del microorganismo en ambientes naturales (Sandrea et al., 2015). Esta enfermedad se considera de declaración obligatoria y una prioridad en aspectos de salud pública desde 1995 en el Real Decreto de vigilancia epidemiológica (2210/1995). Se establece además en la legislación española el Real Decreto 865/2003 y norma UNE 100030 IN 2001, esta última anulada y actualizada por norma UNE 100030 IN 2005, que establece los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control microbiológico de la legionelosis en instalaciones de riesgo como torres de refrigeración, condensadores

evaporativos entre otros (Ausina, 2005; Rojas y Figueras, 2006; Pelaz, 2006; Gea et al., 2012). A pesar del diagnóstico de casos y brotes de legionelosis acaecidos, tanto en España como en el resto del mundo, un factor que se considera vital en la disminución de casos de mortalidad por legionelosis continúa siendo actividades enfocadas al diagnóstico y pruebas de detección (Ausina, 2005). Por otra parte en países como México la legionelosis no es una enfermedad de declaración obligatoria (Hampton et al., 2016). Hasta el 2005 un reporte del sistema de vigilancia epidemiológica sólo había reportado dos casos con diagnóstico clínico de neumonía por *Legionella* spp., sin pruebas de laboratorio confirmatorias y ninguno por aislamiento del agente causal, estos fueron del Estado de México, Guerrero y Quintana Roo. Tampoco se había notificado brote de legionelosis en México, ni la bacteria se había aislado de ningún caso de neumonía. Sin embargo, debido a la globalización y desarrollo de la tecnología en el manejo y uso de agua se hace cada vez más necesario investigar su presencia en el país a fin de iniciar las medidas de vigilancia y control de su aparición y posibles infecciones (Díaz et al., 2011; Manzanares et al., 2014). Los últimos casos reportados de legionelosis en México con la confirmación de laboratorio fue de nueve viajeros al realizar una estancia de dos semanas en una cadena de hoteles en Cozumel, México entre mayo del 2008 y abril del 2010, los cuales enfermaron de legionelosis, determinándose a través de diferentes investigaciones que la fuente de infección común fue el sistema de agua potable del complejo hotelero (Hampton et al., 2016). Parecen ser pocos los estudios sobre

el control y vigilancia de riesgos sanitarios en el agua, equipos y sistemas relacionados como fuentes de riesgo de legionelosis, por la poca o nula disposición en la vigilancia, detección y prevención de manera habitual en laboratorios microbiológicos o por la baja incidencia de casos. Se requiere además replantear en el sistema de información para la vigilancia regular y certificación de la calidad microbiológica del agua, sistemas y equipos hídricos en sus diferentes normas regulatorias oficiales enfocadas al uso y consumo humano como la NOM-127-SSA1-1994, NOM-179-SSA1-1998, NOM-230-SSA1-2002, NOM-245-SSA1-2010, NOM-201-SSA1-2015, NOM-210-SSA1-2014 (Haro *et al.*, 2012; SE, 2018), a fin de generar actualizaciones en acciones preventivas, y no pos reactivas, correctivas y punitivas ante posibles brotes de legionelosis en México.

Análisis en el laboratorio para la detección, control y prevención de legionelosis

Se han reportado diferentes métodos para la detección e identificación de *Legionella* spp., los cuales involucran el cultivo e identificación por metodologías tradicionales y normalizadas que permiten estudios posteriores de tipificación y epidemiología para identificar fuentes de infección causantes de los casos, ensayos de sensibilidad a antimicrobianos y análisis moleculares (Ausina *et al.*, 2005; Pelaz, 2006; Borges *et al.*, 2012; Lösch y Merino, 2016).

L. pneumophila presenta diferentes características fenotípicas para su identificación, por ejemplo, ser un bacilo móvil, catalasa positivo que emplea los aminoácidos como principal fuente de energía, licuefacción de gelatina positivo además de

requerir para su cultivo sales de hierro y L-cisteína (Romero, 2007; Ulloa, 2008). Para el aislamiento y detección de *Legionella* spp., se han desarrollado diferentes procedimientos de recolecta de muestras ambientales, los cuales involucran aspectos que van desde la fuente, puntos de muestreo, tipo y número de muestras recolectadas para el estudio regular, o de investigación de brotes y casos asociados (Ausina, 2005; U.S.D.H.H.S.2005; CDC, 2015). Entre los métodos normalizados para la detección de *Legionella* spp., en agua están los desarrollados por la Organización Internacional de Normalización (ISO) como el 11731:1998, ISO 11731-2:2004, y NF T 90-431/2003 de la asociación francesa de normalización (AFNOR) (Pelaz, 2006; Borges *et al.*, 2012; Lösch y Merino, 2016), además del protocolo de laboratorio para la toma y procesamiento de muestras ambientales para la recuperación de *Legionella* spp., desarrollado por los centros para el control y prevención de enfermedades de EUA (CDC) (U.S.D.H.H.S.2005). Aunque hay diferentes métodos de análisis de agua, éstos comparten algunas similitudes, y de manera general están constituidos en cinco fases: **Concentración de la muestra. Descontaminación y reducción de microbiota asociada por tratamiento térmico y tratamiento ácido. Siembra en los medios de cultivo selectivos. Incubación y recuento, confirmación y tipificación de colonias aisladas.** Sin embargo, estos métodos tradicionales presentan limitaciones, por ejemplo, largos tiempos de incubación, especificidad, y dependencia del estado fisiológico de las células ya que estas pueden estar en estado viable pero no cultivable (condición reversible que aparece y constituye un mecanismo de resistencia y sobrevivencia contra factores ambientales desfavorables). Estos inconvenientes hacen que estas metodologías enfocadas en acciones preventivas, control y de pronta respuesta en situaciones de emergencia sean inadecuadas (Pelaz, 2006; Borges *et al.*, 2012; Lösch y Merino, 2016). Por ello, se encuentran alternativas en la detección y análisis de *Legionella* spp., mediante técnicas de enzimo-inmunoanálisis en agua de características análogas a la usada en la detección de antígeno lipopolisacárido de pared celular de *L. pneumophila* serogrupo 1 en orina, y ensayos de genómica como la PCR convencional o tiempo real, tanto cualitativa como cuantitativa, basados en estudios de genes como el 16S rRNA, 5S rRNA, 23S rRNA, mip (gen potenciador de infectividad en macrófagos) y gen de infectividad dotA involucrando diferentes etapas de análisis como: la concentración por filtración o centrifugación; la lisis bacteriana, extracción y purificación de los ácidos nucleicos; la amplificación de una o varias secuencias específicas, y la visualización del producto amplificado (Ausina *et al.*, 2005; Pelaz, 2006; Borges *et al.*, 2012). Un aspecto importante enfocado a los métodos moleculares es en su carácter de estudio epidemiológico donde técnicas como el análisis de polimorfismos en la longitud de fragmentos amplificados (AFLP) y electroforesis en gel de campos pulsados (PFGE), son considerados comúnmente en la caracterización de cepas posiblemente responsables de brotes e identificación del origen de infección. Se ha propuesto también como técnica alternativa la tipificación multilocus de secuencias (MLST) donde la secuenciación de varios genes ha presentado mayor precisión y reproducibilidad (Ausina, 2005; Rojas y Figueras 2006). Además, desde hace ya algunos años se han diseñado y propuesto para la rápida obtención de información en el análisis y pronta acción para prevención y control de legionelosis, un método automatizado *in situ* independiente de cultivo para la cuantificación de este microorganismo

en agua, el cual combina las fases de preconcentración, inmunocaptura y separación magnética de las células con técnicas colorimétricas (Ripolles et al. 2015). Pero todas estas técnicas moleculares no deben sustituir los ensayos de cultivo sino ser complementarios. La detección de este patógeno es muy importante para la predicción de riesgos y la eliminación de legionelosis de posibles fuentes de infección (Pelaz, 2006; Borges et al., 2012). La obtención de información microbiológica y su representatividad a través de las diferentes metodologías acorde al entorno en que se presentan depende de lo oportuno y efectividad de acciones en materia de salud pública (Ripolles et al., 2015).

Prevención y control de la legionelosis

Una parte fundamental en el proceso de control de la diseminación de la legionelosis es el conocimiento del nicho ecológico. Los microorganismos causales se localizan en ambientes acuáticos naturales y aquellos creados y manipulados por el hombre y pueden soportar un amplio rango de condiciones fisicoquímicas (incluyendo la temperatura) para su crecimiento y colonización. Diferentes instalaciones y equipos como por ejemplo: bañeras de hidromasaje, torres de refrigeración (unidades de aire acondicionado), sistemas hidráulicos, sistemas de agua potable, aguas termales, fuentes decorativas, máquinas productoras de hielo, unidades de trasplantes y unidades de odontología se han relacionado con la transmisión de *Legionella* spp., constituyendo una importante fuente de exposición y riesgo de infección (Ausina, 2005; Rojas y Figueras 2006; WHO, 2016; Lösch y Merino, 2016; CDC, 2018). Hay que considerar que el desarrollo de la enfermedad dependerá de diversos factores y no solo de la presencia de bacterias, tales como la intensidad de la exposición a aerosoles, tiempo de exposición, concentración de la bacteria, y susceptibilidad de las personas expuestas entre otras (Ausina, 2005). Hasta ahora no existen vacunas que puedan prevenir la legionelosis (WHO, 2016; CDC, 2018), por lo que su prevención se basa en el control y monitoreo regular de la calidad del agua, así como la aplicación de medidas de cumplimiento obligado enfocadas a minimizar o evitar condiciones de proliferación y sobrevivencia del agente causal (que favorecen el crecimiento y protección contra medidas de prevención aplicadas, tales como el hipercalentamiento, hipercloración y aplicación de biocidas), y por último, a través de acciones que incluyen el mantenimiento, limpieza, desinfección y buen funcionamiento de instalaciones de agua y aparatos, con aplicación de medidas físicas (térmicas) o químicas (biocidas)

para limitar al máximo la proliferación en los diferentes sistemas considerados de riesgo (Ausina, 2005; WHO, 2016; CDC, 2018).

CONCLUSIONES

Legionella spp., es un microorganismo considerado como patógeno emergente y de importancia en salud pública principalmente en países desarrollados, debido a su incidencia y mortalidad. Tiene como hábitat natural ecosistemas acuáticos y es resistente a diversas condiciones fisicoquímicas, siendo el agua su vehículo transmisor. Se ha establecido que la prevención y control de posibles casos o brotes de legionelosis requieren de acciones conjuntas en el control de la calidad microbiológica del agua y desarrollo, difusión, implementación y vigilancia en la aplicación de programas regulares de limpieza y desinfección por parte de entidades gubernamentales en materia de salud, organizaciones internacionales de salud, academia, sector industrial y población general.

LITERATURA CITADA

- Almahmoud I., Kay E., Schneider D., Maurin M. 2009. Mutational paths towards increased fluoroquinolone resistance in *Legionella pneumophila*. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 64:284-293.
- Ausina V., Catalán V., Cercenado E., Pelaz A.C. 2005. Procedimientos en Microbiología Clínica. Recomendaciones de la Sociedad Española de Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica. 20. Diagnóstico microbiológico y control de la legionelosis. Ed: Emilia Cercenado y Rafael Cantón ISBN: 84-609-9044-3.
- Borges A., Simões M., Martínez Murcia A., Saavedra M. J. 2012. Detection of *Legionella* spp. in natural and man-made water systems using standard guidelines. *Journal of Microbiology Research* 2: 95-102.
- Bruin J.P., Koshkolda T., IJzerman EP., Luck C., Diederens Bram M., Den Boer J.W., Mouton J.W. 2014. Isolation of ciprofloxacin-resistant *Legionella pneumophila* in a patient with severe pneumonia. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 69:2869-2871.
- Cano P.R., Martín M.C., Pelaz A.C. 2010. Brotes de legionelosis notificados a la Red Nacional de Vigilancia Epidemiológica. Años 1999 a 2009. Boletín epidemiológico semanal. Centro Nacional de Epidemiología. Ministerio de Ciencia e Innovación España. Semanas: 38-39 del 19/09 al 02/10 de 2010. 18:17/161-168. ISSN: 1135-6286.
- CDC 2018. Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades. HHS.Gov – Departamento de Salud y Servicios Humanos. GobiernoUSA.gov. Disponible en: <https://www.cdc.gov/legionella/about/causes-transmission-sp.html/20170902>
- CDC 2015. Centers for Disease Control and Prevention. Sampling Procedure and Potential Sampling Sites. Protocol for collecting environmental samples for *Legionella* culture during a cluster or outbreak investigation or when cases of disease may be associated with a facility. Disponible en: <https://www.cdc.gov/>

- legionella/downloads/cdc-sampling-procedure.pdf
- CSA 2015. Comité de seguridad alimentaria mundial. Contribución del agua a la seguridad alimentaria y la nutrición. Un informe del Grupo de alto nivel de expertos en seguridad alimentaria y nutrición. Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (FAO). Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-av045s.pdf>
- Díaz D.G.C., Carrasco I.R.Z., Lozano J.C., Cahuich J.I.A. 2011. Legionelosis, una enfermedad olvidada en México. *Revista de Enfermedades Infecciosas en Pediatría*, 24: 42.
- Durán M.A., Valero C.N. 2010. *Legionella pneumophila*: An Emergent Pathogen in Zulia State, Venezuela Mini-review. *Kasmera* 38:168-171.
- Galindo S., Aramburú A., Condori F. J., Gutierrez E.L. Hajar G. 2017. Usefulness of urinary antigen detection tests for a rapid diagnosis of legionellosis. *Acta Médica Peruana* 34:333-334.
- Gea I.E., Haro G.L., Mezones H.E. 2012. Acciones de prevención y control de la legionelosis: un reto para la salud pública española. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 29:272-276.
- Hampton L.M., Brown E., Garrison L., Lucas C., Kattan J., Kozak M.N.A., Waterman S. 2016. Legionnaires' disease outbreak at a resort in Cozumel, Mexico. In *Open Forum Infectious Diseases*, 3(3), ofw170. 1-6.doi: 10.1093/ofid/ofw170
- Haro A.J., Calderon O.J.R. Nubes G. 2012. Riesgos sanitarios en calidad microbiológica del agua. Una evaluación en 10 estados de la república mexicana. *Región y sociedad*, 24:257-288.
- ISO. 1998. International Organization for Standardization. ISO 11731:1998 Water quality-Detection and enumeration of *Legionella*.
- ISO. 2004. International Organization for Standardization ISO 11731-2:2004 Water quality-Detection and enumeration of *Legionella*-Part 2: Direct membrane filtration method for waters with low bacterial counts.
- Lösch L.S., Merino L.A. 2016. Presencia de *Legionella* spp. en depósitos domiciliarios de agua potable en Resistencia, Chaco, Argentina. Informe preliminar. *Revista Argentina de Microbiología* 48:329-332.
- Manzanares L.G.L., Del Real S.S.G.M.E., Flores Chávez R.I., Montiel B.N.M. 2014. Detection of *Legionella pneumophila* in the water supply systems at the Autonomous University of the State of Mexico's (UAEM) Faculty of Dentistry. *Revista ADM* 71: 216-220.
- Pelaz A.C. 2006. Methods for legionella detection. *Revista de salud ambiental* 6(1-2), 80-84.
- Pulido M.D.P.A., Ávila de N.S.L., Estupiñán T.S.M., Prieto A. C. G. 2005. Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua. *NOVA Publicación en Ciencias Biomédicas*, 3: 69-79.
- Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los Criterios Higiénico-Sanitarios para la Prevención y Control de la Legionelosis. BOE, 171 de 18 de julio. Gobierno de España. Ministerio de Sanidad y Consumo. Disponible en: <http://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-14408>
- Ripollés A.A., Ferrer C., Jiménez M., Rodríguez G., Solís I. 2015. On-site monitoring and detection system for *Legionella* in waters. *Tecnoaqua*, 11, 76-81. Disponible en: www.tecnoaqua.es/20170903
- Rojas I.I., Figueras S.M.J. 2006. Microbiological and sampling criteria established in the present spanish legislation for the control of legionella. *Revista de Salud Ambiental* 6(1-2), 89-91.
- Romero C.R. 2007. Microbiología y parasitología humana. Bases etiológicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias. (3ra edición), México D.F. Editorial Medica Panamericana.
- Sandrea T.L., Paz A.R.Y., Fuenmayor B.A., Montes A., Piña R.E., Nava D.M. 2015. *Legionella* spp. as causal agent of pneumonia. *Kasmera* 43:130-138.
- SE. 2018. Secretaria de Economía. Normas oficiales mexicanas. Gobierno de los Estados Unidos Mexicanos. Disponible en: <http://www.economia-noms.gob.mx/noms/inicio.do>
- U.S.D.H.H.S. 2005. U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Respiratory Disease Laboratory Section. Procedures for the Recovery of *Legionella* from the Environment. disponible en: http://www.flenviro.com/CDC_legionella_method.pdf
- Ulloa M.T. 2008. *Legionella pneumophila*. *Revista chilena de infectología*, 25:208-208.
- WHO. 2016. World Health Organization. Legionelosis. Nota descriptiva. Disponible en: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs285/es/> 20170824



ARTISANAL MEXICAN FOODS: NUTRITIONAL ASPECTS

ALIMENTOS ARTESANALES MEXICANOS: ASPECTOS NUTRIMENTALES

Díaz-Ramírez, M.^{1*}; Salgado-Cruz, M. de la P.²; Medellín-Cruz, L. del C.³; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Rayas-Amor, A.A.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹; Cortés-Sánchez, A.De J.⁴

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ²Instituto Politécnico Nacional Cátedra CONACyT. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. Av. Wilfrido Massieu, Esq. Calzada Miguel Stampa s/n, Del. Gustavo A. Madero 07738 Ciudad de México, México. ³Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias Ambientales. Av. de las Garzas 10, El panteón, 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ⁴Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Cátedra CONACyT., S.C. Unidad Nayarit (UNCIBNOR+). Calle Dos No. 23. Cd. del Conocimiento. Av. Emilio M. González. Cd. Industrial. C.P. 63173.Tepic, Nayarit. México.

*Autor de correspondencia: marea131079@gmail.com

ABSTRACT

Objective: The aim of this study was to show some of the important nutritional characteristics of Mexican artisanal foods reported in the literature.

Design/methodology/approach: A search was done through scientific publications in different scientific and academic databases such as Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Scholar, among others.

Results: The literature reports that there is a wide variety of artisanal foods which have important biological activities such as antihypertensive, antioxidant and antimicrobial activities; in addition, they contain microorganisms and compounds with probiotic and prebiotic activity, as well as a high content of vitamins, minerals, fatty acids and essential amino acids.

Study limitations/implications: There is a wide variety of Mexican artisanal foods about which nutritional properties and/or biological activity have not been studied.

Findings/Conclusions: Mexican artisanal foods are a source of bioactive compounds that have antihypertensive, antioxidant and antimicrobial, probiotic and prebiotic activities.

Keywords: Mexican artisanal foods, biological activity, nutritional quality, probiotics.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de este trabajo fue mostrar algunas de las características nutrimentales importantes de los alimentos artesanales mexicanos reportadas en la literatura.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una búsqueda a través de publicaciones científicas en diferentes bases de datos científicas y académicas como Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google académico entre otras.

Resultados: La literatura reporta que hay una amplia variedad de alimentos artesanales y que éstos tienen actividades biológicas destacadas como la antihipertensiva, antioxidante y antimicrobiana, además de la presencia de microorganismos y compuestos con actividad probiótica y prebiótica, así como el contenido alto de vitaminas, minerales, ácidos grasos y aminoácidos esenciales.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 59-64.

Recibido: agosto, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.



Limitaciones del estudio/implicaciones: Hay una amplia variedad de alimentos artesanales mexicanos de los cuales sus características nutrimentales y/o actividad biológica no han sido estudiados.

Hallazgos/conclusiones: Los alimentos artesanales mexicanos son fuente de compuestos bioactivos que tienen actividad antihipertensiva, antioxidante y antimicrobiana, probiótica y prebiótica.

Palabras clave: alimentos artesanales mexicanos, actividad biológica, calidad nutrimental, probióticos

INTRODUCCIÓN

Aunque no existe un consenso de la definición de alimentos artesanales, algunos autores los refieren como “aquellos productos comestibles elaborados a mano” o “productos comestibles elaborados con conocimientos y métodos tradicionales” (Domínguez-López *et al.*, 2011), los cuales se distinguen porque su fabricación se da en pequeños volúmenes, prevalece la incorporación de insumos y recursos locales, y se excluyen aditivos y conservadores en su preparación. En México, este tipo de alimentos tiene una amplia demanda por su valor cultural, social y económico, además de ser considerados como saludables y contar con características sensoriales (textura, sabor, olor, apariencia, entre otras) aceptables (Domínguez-López *et al.*, 2011); sin embargo, la investigación científica sobre sus características físicas, químicas, nutrimentales y microbiológicas sigue siendo escasa. Dentro de los alimentos artesanales que más se han estudiado se encuentran los quesos artesanales, tales como el queso fresco (Alvarado *et al.*, 2006), Chihuahua (López-Díaz y Martínez-Ruiz 2018), Cotija (García-Cano *et al.*, 2014), Oaxaca (Domínguez-López *et al.*, 2011), de poro (Aldrete-Tapia *et al.*, 2014), Tepeque (Martínez-Loperena *et al.*, 2015), Adobera (Jiménez-Espinoza *et al.*, 2015), entre otros. Dichos estudios se refieren a la caracterización de su microbiota (Torres-Llanez *et al.*, 2006; Aldrete-Tapia *et al.*, 2014) sus propiedades físicas y sensoriales (López-Díaz y Martínez-Ruiz 2018), así como respecto a la seguridad de su consumo (Díaz-Ramírez *et al.*, 2016). En relación a las bebidas artesanales mexicanas, se han realizado estudios sobre la identificación y propiedades de la microbiota del tejuino (Suela-Silva *et al.*, 2017), pozol (López-Hernández *et al.*, 2018), tejate (González-Amaro *et al.*, 2015), pulque y aguamiel (Escalante *et al.*, 2016), tepache (De la Fuente-Salcido *et al.*, 2015), entre otros. También se ha estudiado el vinagre (Alvarado *et al.*, 2006), el chorizo (Schneider *et al.*, 2006), la miel (Ruíz-Navajas *et al.*, 2011; Rodríguez *et al.*, 2011) el mole y el achiote (Álvarez-Parrilla *et al.*, 2014). A pesar de los estudios mencionados existe una variedad amplia de alimentos que aún no han sido evaluados y de los que existe poca información, por citar algunos ejemplos se encuentran los dulces típicos mexicanos, y otros alimentos como los tamales, todos ellos muy consumidos en México, y de los que se requiere su estudio.

Aspectos nutrimentales

Se reconocen alrededor de 40 diferentes variedades de queso en México (Villegas de Gante y Cervantes-Escoto, 2011; Villegas de Gante *et al.*, 2014; González-Córdova *et al.*, 2016) siendo los frescos los más consumidos (aproximadamente 80%) seguidos de los quesos semi-madurados y madurados,

como el queso Chihuahua y Cotija respectivamente (González-Córdova *et al.*, 2016). El queso forma parte de otros alimentos típicos o de consumo cotidiano en nuestro país, en general, es una fuente proteica de alto valor biológico así como de elementos importantes para la nutrición como el calcio, fósforo y zinc (López-Expósito *et al.*, 2012), además la presencia de bacterias ácido lácticas tienen un efecto probiótico comprobado. A continuación se presentan algunos estudios de las características nutrimentales notables de diferentes quesos mexicanos.

El queso fresco mexicano se caracteriza por su alto contenido de humedad, textura suave, cremosa, y vida útil corta. Torres-Llanez *et al.* (2011) demostraron la actividad antihipertensiva de diferentes péptidos provenientes de la β -caseína y α S1-caseína de queso fresco mexicano preparado con *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Enterococcus*, y mezclas: *Lactococcus-Lactobacillus* y *Lactococcus-Enterococcus*.

El Queso Cotija es un queso artesanal producido con leche cruda principalmente en los Estados de Michoacán y Jalisco, éste se deja madurar durante tres meses para obtener un queso duro, quebradizo, salado y maloliente. García-Cano *et al.* (2014) demostraron la actividad antimicrobiana de las cepas *Enterococcus faecalis* y *Enterococcus faecium* aisladas de queso Cotija contra *Staphylococcus aureus*, *Yersinia enterocolitica*, *Salmonella enterica Typhimurium* y *Pseudomonas aeruginosa* por la generación de enzimas con actividad de peptidoglicano hidrolasa (PGH) de N-acetilglucosaminidasa. Autores como Hernández-Galán *et*

al. (2016) encontraron que durante la maduración del queso se liberan péptidos con actividad antioxidante y antihipertensiva, mostrando su mayor actividad al término de dicho proceso. El Queso Adobera, elaborado con leche bronca mediante los microorganismos encontrados naturalmente en la leche, tienen un alto contenido de humedad, sabor ligero, sin corteza y una vida útil corta. Se ha encontrado que contiene ácidos grasos esenciales, tales como el ácido linoléico conjugado el cual es de gran interés debido a sus efectos anti-inflamatorios, anticancerígenos, anti-obesidad y anti-diabéticos (Jiménez-Espinoza et al., 2015).

El Queso Oaxaca, es uno de los quesos mexicanos más populares y es usado de manera amplia en platillos cotidianos alrededor del país. Es un queso de hebra producido a partir de la leche cruda. Puede ser considerado como un vehículo potencial para la entrega de lactobacilos probióticos. Al respecto, Caro et al. (2013) caracterizó 27 cepas aisladas de este tipo de microorganismos, donde *Lactobacillus plantarum* fue la cepa predominante, ocho aislamientos mostraron actividad antimicrobiana, cuatro cepas de *L. plantarum* mostraron bajo índice de resistencia a antibióticos y actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* enterotoxigénico.

El Queso de Poro, es elaborado con leche obtenida de rebaños de cruce cebú-pardo suizo (*Bos indicus* × *Bos taurus*), tiene una vida de anaquel lo suficientemente larga que facilita su comercialización, y en el interior de la pasta se desarrollan pequeños hoyos o poros atribuidos a la producción y acumulación de gas

generado por microorganismos autóctonos, en gran medida provenientes de la leche y del suero utilizados en su fabricación. Su microbiota incluye la presencia de bacterias lácticas con acción probiótica como las del género *Lactococcus*, *Lactobacillus* y *Streptococcus* (De la Rosa Alcaraz, 2013).

El Queso Chihuahua, es una variación semidura, de maduración mínima del queso Cheddar desarrollado por las comunidades menonitas en Chihuahua, México. Contiene bacterias ácido-lácticas con actividad probiótica como *Streptococcus thermophilus*, *Lactococcus lactis* ssp., *Lactobacillus plantarum*, *Leuconostoc mesenteroides* y *Streptococcus macedonicus* (Renyé et al., 2011).

Dentro de algunas bebidas artesanales mexicanas, existe una amplia variedad que están fuertemente ligadas a la cultura y tradiciones de diferentes pueblos. A continuación se muestran algunos estudios relacionados con sus aspectos nutrimentales.

El Tejuino, es producto de la fermentación del nixtamal de maíz (*Zea mays* L.) se produce en Jalisco, Oaxaca, Nayarit, Chihuahua, entre otros. En su proceso de obtención participan microorganismos como *Aspergillus*, *Penicillium*, *Saccharomyces* spp, *Candida guilliermondii*, *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus acidophilus* y *Leuconostoc mesenteroides* que le confieren su sabor olor y consistencia. Con respecto a sus propiedades nutrimentales, recientemente se han encontrado propiedades probióticas proporcionadas por *Weissella cibaria* y *Leuconostoc citreum* mediante la evaluación de la supervivencia de cepas bacterianas aisladas de esta bebida mexicana en un modelo gastrointestinal humano (Suela-Silva et al., 2017).

El Pozol, es una bebida no alcohólica, y es una suspensión acuosa de masa de maíz nixtamalizada fermentada (López-Hernández et al., 2018). Las bacterias lácticas amilolíticas son el grupo más relevante durante su fermentación, entre ellas *Lactobacillus acidophilus* y *L. crispatus*, las cuales producen ácido láctico y pueden funcionar como probióticos (García-López, 2010), con esta misma función se han reportado otros microorganismos, tales como *Streptococcus*, *L. pseudomesenteroides* y *Weissella paramesenteroides* (Rodríguez et al., 2011).

Respecto al Pulque y aguamiel, la primera es una bebida fermentada hecha con aguamiel proveniente de diferentes especies del maguey (*Agave* sp.), dentro de sus ventajas nutrimentales se encuentran sus altos niveles de vitamina C, hierro, ácido ascórbico, riboflavina y otras vitaminas del complejo B, además contiene cantidades significativas de ácido fólico, saponinas esteroides y aminoácidos esenciales, muchos de ellos bioactivos (Escalante et al., 2016); la fitasa presente en esta bebida mejora la biodisponibilidad de hierro y zinc (Morales de León et al., 2005); sin embargo, a pesar de sus ventajas nutrimentales el contenido de alcohol limita su uso (Escalante et al., 2016). El aguamiel provee de hierro, zinc y aminoácidos esenciales, además de que sus fructo oligosacáridos, tienen una función prebiótica demostrada (Castro-Zabala, 2015). Diversas especies de *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, y la levadura *Kluyveromyces marxianus* aisladas tienen propiedades probióticas *in vitro*

en *in vivo* (Escalante *et al.*, 2016; Mendoza-Gardeazábal, 2013).

El Tejate, es una bebida mesoamericana hecha principalmente con maíz y cacao (*Theobroma cacao* L.); es una fuente de minerales (Ca, Fe, Zn, K, Mg y P), cuya concentración depende de las condiciones de nixtamalización, además tiene una cantidad importante de almidón resistente (fibra) y su consumo mantiene los niveles de glucosa en sangre normales (González-Amaro *et al.*, 2015). Por otro lado el cacao tiene propiedades antioxidantes, antitumorales y funciona como protector cardiovascular (Rusconi y Conti, 2010).

El Tepache, es una bebida fermentada que se prepara con pulpa de piña (*Ananas comosus* L.), maíz, manzana (*Malus domestica* L.) y naranja (*Citrus x sinensis* L.). Dentro de la microbiota que la origina se encuentran bacterias ácido-lácticas (BAL) (*Lb plantarum*, *Lc. Lactis*, *E. faecium*, *Leuconostoc mesenteroides*), que además de funcionar como probióticos tienen la característica de generar péptidos con actividad antimicrobiana (bacteriocinas) hacia bacterias patógenas como *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes*, *Listeria innocua*, *Streptococcus agalactiae*, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*, *Salmonella typhimurium*, and *Salmonella* spp (De la Fuente-Salcido *et al.*, 2015).

Otros alimentos artesanales, que tienen presencia relevante en la alimentación, son la miel (*Apis mellifera* L.) y sus derivados, los cuales tienen actividad antimicrobiana, antioxidante, antiviral, antitumoral y antiinflamatoria (Viuda-Martos *et al.*, 2008). Al respecto Ruiz-Navajas *et al.* (2011) evaluaron la actividad antioxidante de la miel de Tabasco (México) proveniente de áreas de cultivo de cacao, cítricos y coco (*Cocos nucifera* L.), y manglares (*Rhizophora* sp.), demostrando que éstas son fuente de compuestos fenólicos y flavonoides, y por lo tanto, tienen actividad antioxidante significativa. Rodríguez *et al.* (2011) evaluaron la actividad antioxidante y antimicrobiana de 14 tipos de miel mexicana, reportando que todas las mieles evaluadas poseen ambos tipos de actividades biológicas.

En cuanto al Chorizo, algunos de los estudios realizados (Schneider *et al.*, 2006; Alvarado *et al.*, 2006) señalan que en este tipo de alimento se encuentran bacterias ácido lácticas que producen bacteriocinas, que son sustancias capaces de inhibir el crecimiento de patógenos como *Listeria monocytogenes*. Se ha confirmado la actividad

antioxidante del chorizo por la presencia de péptidos y el contenido total de compuestos fenólicos cuando son adicionados de otros ingredientes, tales como el aceite de orégano (*Origanum* sp.) (Broncano *et al.*, 2012; Perales-Jasso *et al.*, 2018); sin embargo, otros estudios (Ramírez-Muñoz *et al.*, 2015; González-Tenorio *et al.*, 2013) señalan la presencia de aminas biogénicas cuando se almacena en largos períodos a temperatura ambiente así que se recomienda su almacenamiento en refrigeración por periodos cortos, además de una adecuada higiene durante su elaboración.

El Vinagre, es de producción artesanal e implica la fermentación de una solución azucarada por la "madre", una sustancia mucilaginoso amarillenta flotante, la cual probablemente contiene un consorcio microbiano que incluyen levaduras, bacterias ácido lácticas y *Acetobacter* spp. que producen ácido acético principalmente (Alvarado *et al.*, 2006), de éstas *Lactobacillus paracasei* VN4 y VN7 es una bacteria con características probióticas y *L. plantarum* CC10 inhibe significativamente a *S. aureus* 8943 (Alvarado *et al.*, 2006).

El Mole y el achiote, según Álvarez-Parrilla *et al.* (2014), tienen actividad antioxidante y que ambos, junto con la salsa de pasilla (*Capsicum annum*) tienen actividad antioxidante por su contenido de compuestos fenólicos y flavonoides. Además del beneficio en su consumo, esta actividad previene la oxidación de los lípidos presentes en la carne por lo que puede mejorar su calidad y vida de anaquel.

CONCLUSIONES

Los alimentos artesanales son muy consumidos en México; y algunos destacan por su actividad biológica, tales como la antihipertensiva, antioxidante y antimicrobiana, así como la presencia de microorganismos y compuestos con actividad probiótica y prebiótica, además de alto contenido de vitaminas, aminoácidos, ácidos grasos y minerales esenciales. Si bien hay información de este tema, se requieren más estudios para propiciar y preservar el consumo de alimentos artesanales en México.

LITERATURA CITADA

- Aldrete-Tapia A., Escobar-Ramírez M. C., Tamplin M. L., Hernández-Isturriaga M. 2014. High-throughput sequencing of microbial communities in Poro cheese, an artisanal Mexican cheese. *Food Microbiology* 44:136-141.
- Alvarado C., Almendárez B. G., Martín S. E., Regalado C. 2006. Bacterias ácido lácticas aisladas de alimentos tradicionales mexicanos

- con potencial de utilización como antimicrobianos. *Revista Latinoamericana de Microbiología* 48(3-4): 260-268.
- Álvarez-Parrilla E., Mercado-Mercado G., De La Rosa L. A., López-Díaz J. A., Wall-Medrano A., González-Aguilar G. A. 2014. Antioxidant activity and prevention of pork meat lipid oxidation using traditional Mexican condiments (pasilla dry pepper, achiote, and mole sauce). *Food Science and Technology* 34(2): 371-378.
- Broncano J.M., Otte J., Petró M. J., Parra V., Timón M.L. 2012. Isolation and identification of low molecular weight antioxidant compounds from fermented "chorizo" sausages. *Meat science* 90(2): 494-501.
- Caro I., Mateo J., Sandoval M.H., Soto S., García-Armesto M.R., Castro J.M. 2013. Characterization of Oaxaca raw milk cheese microbiota with particular interest in *Lactobacillus* strains. *Journal of Dairy Science* 96(6): 3461-3470.
- Castro-Zavala A., Juárez-Flores B. I., Pinos-Rodríguez J. M., Delgado-Portales R. E., Aguirre-Rivera J. R., and Alcocer-Gouyonnet F. 2015. Prebiotic effects of *Agave salmiana* fructans in *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium lactis* cultures. *Natural Product Communication* 10: 1985-1988.
- De la Fuente-Salcido N. M., Castañeda-Ramírez J. C., García-Almendárez B. E., Bideshi D. K., Salcedo-Hernández R., Barboza-Corona J. E. 2015. Isolation and characterization of bacteriocinogenic lactic bacteria from M-Tuba and Tepache, two traditional fermented beverages in México. *Food science & nutrition* 3(5): 434-442.
- De la Rosa Alcaraz M.A. 2013. Dinámica poblacional de la microbiota de queso de poro de Balacán durante su proceso de fabricación artesanal. Tesis de Maestría. Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora.
- Díaz Ramírez M., García Garibay M., Jiménez Guzmán J., Villanueva Carvajal A. 2016. Inocuidad en alimentos tradicionales: el queso de Poro de Balacán como un caso de estudio. *Estudios Sociales* 25(47): 89-111.
- Domínguez-López A., Villanueva-Carvajal A., Arriaga-Jordán C. M., Espinoza-Ortega A. 2011. Alimentos artesanales y tradicionales: el queso Oaxaca como un caso de estudio del Centro de México. *Estudios sociales* 19(38): 165-193.
- Escalante A., López-Soto D. R., Velázquez Gutiérrez J. E., Giles-Gómez M., Bolívar F., López-Munguía A. 2016. Pulque, a traditional mexican alcoholic fermented beverage: historical, microbiological, and technical aspects. *Frontiers in microbiology* 7: 1026.
- García-Cano I., Serrano-Maldonado C. E., Olvera-García M., Delgado-Arciniega E., Peña-Montes C., Mendoza-Hernández G., Quirasco, M. 2014. Antibacterial activity produced by *Enterococcus* spp. isolated from an artisanal Mexican dairy product, Cotija cheese. *LWT-Food Science and Technology* 59(1): 26-34.
- García-López D. 2010. Aislamiento de microorganismos probióticos a partir de bebidas fermentadas: aguamiel, pozol y sotol. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Coahuila, México.
- González-Amaro R. M., Figueroa-Cárdenas J. de Dios, Perales H., Santiago-Ramos D. 2015. Maize races on functional and nutritional quality of tejate: A maize-cacao beverage. *LWT-Food Science and Technology* 63(2): 1008-1015.
- González-Córdova A. F., Yescas C., Ortiz-Estrada Á. M., Hernández-Mendoza A., Vallejo-Cordoba, B. 2016. Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science* 99(5): 3250-3262.
- González-Tenorio R., Fonseca B., Caro I., Fernández-Díez A., Kuri V., Soto S., Mateo J. 2013. Changes in biogenic amine levels during storage of Mexican-style soft and Spanish-style dry-ripened sausages with different aw values under modified atmosphere. *Meat science* 94(3): 369-375.
- Hernández-Galán L., Cardador-Martínez A., Picque D., Spinnler H. E., López-del Castillo-Lozano M., Martín del Campo S. T. 2016. ACEI and antioxidant peptides release during ripening of Mexican Cotija hard cheese. *Journal of Food Research* 5(3): 85-91.
- Jiménez-Espinoza S., Estarrón-Espinosa M., García-Parra M. D., Lugo-Cervantes E. D. C., Villanueva-Rodríguez S. J. 2015. Determination of fatty acid profile and presence of conjugated linoleic acid, in two artisan fermented products of the state of Jalisco (Adobera cheese and Tejuino) by gas chromatography. In 5to Congreso Internacional de Biología, Química y Agronomía. UNICO. Universidad Autónoma de Guadalajara.
- López-Díaz J. A., Martínez-Ruiz, N. D. 2018. Perfil sensorial y fisicoquímico del queso Chihuahua considerando las preferencias del consumidor. *Agrociencia* 52(3): 361-378.
- López-Expósito I., Amigo L., Recio I. 2012. A mini-review on health and nutritional aspects of cheese with a focus on bioactive peptides. *Dairy science & technology* 92(5): 419-438.
- López-Hernández M., Rodríguez-Alegría M. E., López-Munguía A. 2018. Evaluation of xylan as carbon source for *Weissella* spp., a predominant strain in pozol fermentation. *LWT - Food Science and Technology* 89: 192-197.
- Martínez-Loperena R., Ayala-Burgos A., Solorio-Sánchez J., Castelán-Ortega O. 2015. Efecto de un sistema silvopastoril intensivo sobre el perfil de textura y composición físico-química del Queso Artesanal Tepeque de México. *Revista Científica* 25(2): 153-158.
- Mendoza-Gardeazábal A. S. 2013. Caracterización de la levadura *Kluyveromyces marxianus* como microorganismo probiótico. Dissertation, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo
- Morales de León J., Bourges H., Camacho M. E. 2005. Aminoacid composition of some Mexican foods. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 55: 172-186.
- Perales-Jasso Y. J., Gámez-Noyola S. A., Aranda-Ruiz J., Hernández-Martínez C. A., Gutiérrez-Soto G., Luna-Maldonado A. I., Silva-Vázquez R., Hume M. E., Méndez-Zamora G. 2018. Oregano powder substitution and shelf life in pork chorizo using Mexican oregano essential oil. *Food Science & Nutrition* 6(5): 1254-1260.
- Ramírez-Muñoz D., Ruiz-Capillas C., Herrero A. M., Muñoz R., Rivas B. D. L., Cueto Wong M. C., Jiménez Colmenero F. 2015. Studies of biogenic amines in Mexican green sausage "chorizo verde". 5th Euro-Global Summit and Expo on Food & Beverages. June 16-18, Alicante, España.
- Renye Jr, J.A., Somkuti G.A., Van Hekken D.L., Guerrero-Prieto V. 2011. Characterization of microflora in Mexican Chihuahua cheese. *Journal of Dairy Science* 94(7): 3311-3315.
- Rodríguez B.A., Mendoza S., Iturriga M.H., Castaño-Tostado E. 2011. Quality Parameters and Antioxidant and Antibacterial

- Properties of Some Mexican Honeys. *Journal of Food Science* 77(1): 121-127.
- Rodríguez A, Villalva B, Flores MT, Sainz T, Eslava C, Díaz Ruiz G, Wachter-Rodarte MC. 2011. Estudio del potencial probiótico de bacterias ácido lácticas aisladas del pozol. *In: Proceedings of the XIV Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería, Querétaro, Querétaro, México.*
- Ruiz-Navajas Y., Viuda-Martos M., Fernández-López J., Zaldivar-Cruz J.M., Kuri V., Pérez-Álvarez J.Á. 2011. Antioxidant activity of artisanal honey from Tabasco, Mexico. *International Journal of Food Properties* 14(2): 459-470.
- Rusconi M., Conti A. 2010. *Theobroma cacao* L., the Food of the Gods: a scientific approach beyond myths and claims. *Pharmacological Research* 61: 5-13.
- Schneider R., Fernández F. J., Aguilar M. B., Guerrero-Legarreta I., Alpuche-Solis A., Ponce-Alquicira E. 2006. Partial characterization of a class IIa pediocin produced by *Pediococcus parvulus* 133 strain isolated from meat (Mexican "chorizo"). *Food Control* 17(11): 909-915.
- Suela-Silva M., Ramos C. L., González-Ávila M., Gschaedler A., Arrizon J., Schwan R. F., Dias D. R. 2017. Probiotic properties of *Weissella cibaria* and *Leuconostoc citreum* isolated from tejuino A typical Mexican beverage. *LWT - Food Science and Technology* 86: 227-232.
- Torres-Llanez M. J., Vallejo-Cordoba B., Díaz-Cinco M. E., Mazorra-Manzano M. A., González-Córdova A. F. 2006. Characterization of the natural microflora of artisanal Mexican Fresco cheese. *Food control* 17(9): 683-690.
- Torres-Llanez M. J., González-Córdova A. F., Hernandez-Mendoza A., García H. S., Vallejo-Cordoba B. 2011. Angiotensin-converting enzyme inhibitory activity in Mexican Fresco cheese. *Journal of Dairy Science* 94(8): 3794-3800.
- Villegas de Gante A., Cervantes-Escoto F. 2011. La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales* 19:146-164.
- Villegas de Gante A., Cervantes-Escoto F., Cesin-Vargas A., Espinoza-Ortega A., Hernández-Montes A., Santos-Moreno A., Martínez-Campos A. R. 2014. Atlas de los Quesos Mexicanos Genuinos. Ed. Biblioteca Básica de Agricultura, Texcoco, Estado de México.
- Viuda-Martos M., Ruiz-Navajas Y., Fernández-López J., Pérez-Álvarez J.A. 2008. Functional Properties of Honey, Propolis and Royal Jelly. *Journal of Food Science*, 73 (9), 117-124.



OPTIMIZATION AS A TOOL FOR DECISION MAKING IN SMALL-SCALE FARMING SYSTEMS

LA OPTIMIZACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA LA TOMA DE DECISIONES EN SISTEMAS AGROPECUARIOS EN PEQUEÑA ESCALA

Labra-Marín, D.¹; Rayas-Amor, A.A.²; Herrera-Hernández, E.C.³; Martínez-García, C.G.⁴; García-Martínez, A.⁵; Núñez-López, M.^{6*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Cuajimalpa. Alumna de la Licenciatura en Matemáticas Aplicadas. Sta. Fe Cuajimalpa, Cuajimalpa de Morelos, 05300, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Lerma de Villada, Estado de México, México. ³Conacyt-Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Av. Playa pie de la cuesta 702, Desarrollo Sn. Pablo, 76125, Querétaro, Querétaro, México. ⁴Universidad Autónoma del Estado de México Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, El Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México. ⁵Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario Temascaltepec, Temascaltepec, Estado de México, México. ⁶ITAM. Departamento de Matemáticas, Río Hondo 1, Ciudad de México 01080, México.

*Autor de correspondencia: maynunlop@gmail.com

ABSTRACT

Objective: to review the mathematical optimization methods used as a decision-making tool in small-scale farming systems.

Design/methodology/approach: the present study consisted in performing a search for scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the following keywords: optimization, models, dairy systems, small scale.

Results: it was found that linear programming is a method used to minimize or maximize linear functions subject to equality or inequality constraints. Non-linear programming aims to find the optimum of a function of various non-linear variables. The method called simulated annealing is a meta-heuristic search algorithm for global optimization problems. Finally, the genetic algorithm method differs from a classical derivative-based optimization algorithm (linear and non-linear programming) in two main ways, and generates a population of points in each iteration; the best point of the population approaches an optimal solution and selects the next population using a calculation that employs random number generators.

Study limitations/implications: there is scarce scientific literature reporting the development of mathematical models of this type that allow simulating and supporting decision-making to prevent significant increases in greenhouse gas emissions from livestock production.

Findings/conclusions: Worldwide, various mathematical models have been developed to estimate greenhouse gas emissions from livestock production, although optimization models have been used only to simulate strategic management in small-scale dairy systems.

Keywords: optimization, models, dairy systems, small-scale.

RESUMEN

Objetivo: revisar los métodos de optimización matemática empleados como herramienta para la toma de decisiones en sistemas agropecuarios en pequeña escala.

Diseño/metodología/aproximación: el presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect utilizando las palabras clave: optimización, modelos, sistemas lecheros, pequeña escala.

Resultados: se encontró que la programación lineal es un método para minimizar/maximizar funciones lineales sujeto a restricciones de igualdad o desigualdad. La programación no lineal tiene como propósito encontrar el óptimo de una función de diversas variables no lineales. El método llamado recocido simulado es un algoritmo de búsqueda meta-heurística para problemas de optimización global. Finalmente, el método algoritmo genético difiere de un algoritmo de optimización clásico basado en derivadas (programación lineal y no lineal) en dos formas principales, genera una población de puntos en cada iteración, el mejor punto de la población se aproxima a una solución óptima y selecciona la siguiente población mediante un cálculo que emplea generadores de números aleatorios.

Limitaciones del estudio/implicaciones: existe poca literatura científica en la cual se reporte el desarrollo de modelos matemáticos de este tipo que permitan simular y apoyar la toma de decisiones para evitar incrementos significativos en las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las explotaciones ganaderas.

Hallazgos/conclusiones: A nivel mundial se han desarrollado diversos modelos matemáticos para estimar las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la ganadería no obstante los modelos de optimización se han empleado limitadamente para simular el manejo estratégico en sistemas lecheros en pequeña escala.

Palabras clave: optimización, modelos, sistemas lecheros, pequeña escala.

un mínimo local en el espacio de búsqueda sobre todo si la función objetivo es no lineal. En el caso de funciones lineales sin restricciones, dichos algoritmos suelen ser muy robustos pero demandan que la matriz de coeficientes sea positiva definida y simétrica, condiciones que suelen no cumplirse en problemas reales. Por otra parte, los algoritmos de búsqueda global son en general mucho más lentos que su contraparte de búsqueda local, pues requieren de hacer evaluaciones de la función objetivo en regiones del espacio de búsqueda elegida de forma aleatoria. Esta característica de aleatoriedad les permite hacer una exploración mucho más uniforme del dominio de optimización y de esta manera descartar posibles óptimos locales, ya que continuamente se eligen aleatoriamente nuevos valores de exploración cercanos al mejor valor encontrado en la iteración previa. Los algoritmos de búsqueda global pueden ser empleados para validar la solución determinada mediante un esquema de programación lineal, pues si la función objetivo y las restricciones de un problema lineal están formulados de manera apropiada la solución debe ser la misma (o muy cercanas) en ambos casos.

Modelos matemáticos de optimización

El objetivo del presente trabajo fue realizar una revisión analítica sobre los principales métodos de optimización que han sido empleados en la industria ganadera, entre ellos podemos enunciar los siguientes:

Programación lineal, definido como un método de programación lineal para minimizar/maximizar funciones lineales sujeto a restricciones de igualdad o desigualdad.

INTRODUCCIÓN

Un problema de optimización radica en maximizar o minimizar una función real eligiendo valores de entrada de un conjunto permitido con el fin de calcular el valor de la función. La generalización de la teoría de la optimización y técnicas para otras formulaciones comprende un área grande de las matemáticas aplicadas. De forma general, la optimización incluye el descubrimiento de los "mejores valores" de alguna función objetivo dado un dominio definido, incluyendo una variedad de diferentes tipos de funciones objetivo y diferentes tipos de dominios.

Los métodos de optimización pueden ser clasificados en dos: los de búsqueda local y los de búsqueda global. Los primeros generalmente hacen uso de derivadas (o gradientes) de la función objetivo con la finalidad de encontrar la dirección en la que el gradiente disminuye más rápidamente. Éstos son de rápida convergencia, pero generalmente pueden encontrar

Programación no lineal, cuyo propósito es encontrar el óptimo de una función de diversas variables no lineales y sujeta a una serie de restricciones, generalmente a este tipo de problemas se les conoce como optimización no lineal con restricciones.

Recocido Simulado, definido como un algoritmo de búsqueda metaheurística para problemas de optimización global; el objetivo general de este tipo de algoritmos es encontrar una buena aproximación al valor óptimo de una función en un espacio de búsqueda grande (evalúa algunos vecinos del estado actual q y probabilísticamente decide entre efectuar una transición a un nuevo estado q' o quedarse en el estado q). A este valor óptimo se lo conoce como óptimo global.

Algoritmos genéticos, que difiere de un algoritmo de optimización clásico basado en derivadas (programación lineal y no lineal) en dos formas principales, tal y como se resume en el Cuadro 1.

La optimización en la toma de decisiones en sistemas agropecuarios en pequeña escala

La ganadería es una actividad principal económica en el mundo; consiste en la cría de animales, con el fin de obtener un beneficio económico y productivo, y dentro de este sector se encuentra el lechero. En la mayoría de los países, la leche es uno de los principales alimentos para el ser humano por sus características nutrimentales. Existen grandes, medianas y pequeñas ganaderías que se dedican a la producción lechera, en teoría, es una entrada económica en base a varias actividades

por lo que es importante visualizar cómo maximizar la ganancia neta en función de las actividades agrícolas y los recursos requeridos para su producción. La función objetivo de un modelo de programación lineal aplicado a alguna actividad, depende de varios factores, siendo el principal la meta o fin del caso de estudio, generalmente se busca maximizar ganancias o minimizar pérdidas.

Nuestro caso de estudio es una granja lechera, donde puede resultar de interés la minimización de costos de dieta, o bien, la maximización de la mitigación de gases con efecto invernadero, y en cualquiera de los dos casos las funciones objetivo se basan en los ingredientes de la dieta de una granja de productos lácteos a pequeña escala. De manera paralela, las actividades agrícolas también generan un ingreso monetario por productos como la leche, queso, yogurt, forraje y vaquillas que se venden en un cierto periodo. Como resultado de la optimización, se plantea una combinación de ingredientes de la dieta que maximizan o minimizan la función objetivo según sea el caso. De manera general, el modelo esta dado a partir del siguiente planteamiento

$$\max/\min f(x) = \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

bajo las restricciones, (dependiendo del caso, éstas pueden también ser no lineales o una combinación)

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq \text{ó} \geq b_i; x_j \geq 0$$

Donde $f(x)$ representa la función a optimizar, x_j es la j -ésima actividad agrícola (puede ser dieta, actividades agrícolas, etc.); n denota el número de actividades posibles, c_j es el coeficiente de costo de una unidad de la j -ésima actividad y a_{ij} es el coeficiente del i -ésimo recurso requerido para producir una unidad de la j -ésima actividad agrícola.

En la literatura existen diversos modelos cuyo objetivo es maximizar la ganancia neta mediante la mejora de la producción forrajera cultivada en la granja, y en este sentido, Castelán-Ortega et al. (2016), proponen como caso de estudio siete granjas las cuales pertenecen al sistema lácteo en pequeña escala en México. Para evaluar la rentabilidad de cada una de las fincas, emplean la programación lineal como una herramienta de optimización, con el fin de obtener los mejores escenarios de rentabilidad. El área geográfica de estudio está ubicada en el altiplano central de México, donde el clima es templado por tanto los forrajes que pueden ser cultivados son: maíz (*Zea mays* L.), avena (*Avena fatua* L.), triticale, trigo (*Triticum* sp.), cebada (*Hordeum vulgare* L.) y diversas especies de plantas nativas. Autores como, Djumaeva et al. (2009), estudiaron las granjas en Asia Central debido a la falta de alimentación de calidad, y evaluaron si el forraje de las hojas de los

Cuadro 1. Diferencias entre algoritmos clásicos y genéticos.	
Algoritmo clásico	Algoritmo genético
Genera un único punto en cada iteración. La secuencia de puntos se aproxima a una solución óptima.	Genera una población de puntos en cada iteración. El mejor punto de la población se aproxima a una solución óptima.
Selecciona el siguiente punto de la secuencia mediante un cálculo determinista.	Selecciona la siguiente población mediante un cálculo que emplea generadores de números aleatorios.



árboles es óptimo para el ganado teniendo como objetivo la nutrición de éste, la protección del medio ambiente y el aumento en los ingresos de la granja. Las simulaciones con un modelo de costo mínimo mostraron una dependencia sustancialmente menor de los alimentos comunes al agregar forraje de árboles con un aumento en las ganancias de los agricultores de 53% al inicio de la temporada (mayo), 38% a mitad de temporada (julio) y 34% al final de la temporada (septiembre). Ya que calcularon cuando era el momento óptimo para cosechar el forraje a fin de complementar la dieta de las vacas lecheras; y establecieron la estación del año idónea para su alimentación, concluyendo entre otras, que la conversión de tierras marginales en plantaciones de árboles tiene perspectivas sustanciales para mejorar la nutrición del ganado en Asia Central.

Todo lo anterior fue mediante una ecuación de regresión múltiple, midieron los contenidos de energía metabolizable en las hojas de los árboles, que considera los contenidos de producción de gas, proteína cruda y lípidos brutos. Para encontrar un mayor coeficiente de determinación y analizar la optimización de una mezcla de alimentación. Se elaboró un modelo de programación lineal, que incluye la alimentación del ganado de uso común en la región de estudio con el objetivo de minimizar el racionamiento de la dieta. El alimento más barato fue una mezcla de cáscara de semilla de algodón y salvado de trigo complementada con hojas de *Gleditsia triacanthos* en mayo y con hojas de *Echinacea angustifolia* en julio.

En años recientes, diversos autores han trabajado con modelos de

optimización con el objetivo de reducir las emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) en la producción lechera. Baek *et al.* (2014) desarrollaron una herramienta que permite el control de las emisiones de gases de efecto invernadero en un sistema de vacas lecheras al considerar variables como la composición del alimento, la fase de crecimiento, fermentación entérica y el manejo del estiércol. De los anteriores, la composición del alimento es la variable más influyente y controlable. Por lo tanto, cualquier medida de reducción aplicada para la reducción de las emisiones de GEI de un sistema de vacas lecheras debe incluir el control de la composición del alimento. En este sentido, Hawkins *et al.* (2015), propusieron la sustitución de ensilaje de maíz por heno de alfalfa (*Medicago sativa* L.) como principal alimento para el ganado, argumentando que las raciones ayudan a disminuir los gases de efecto invernadero debido a la mayor materia orgánica del suelo de los forrajes, ya que este cambio conduce a la captura y almacenamiento de carbono en suelos agrícolas. Globalmente, las emisiones de gases de efecto invernadero relacionadas con la producción agrícola se estiman entre 15 y 25% del total de gases antropogénicos, y de la producción lechera se estima que emite aproximadamente 5% del total de gases de efecto invernadero. Moraes *et al.* (2012) desarrollaron un modelo de programación lineal, con el fin de diseñar una dieta de costo mínimo donde consideraron dos tipos de políticas ambientales: un impuesto y una restricción a las emisiones de metano. El modelo examinó los cambios en las emisiones de metano, la excreción de minerales y nitrógeno en el ganado lechero. Se realizaron tres modelos de dieta de costo mínimo para poder compararlos. En el primero, no se tomaron en cuenta las políticas ambientales de las variables de alimentación, fueron solo la disponibilidad asociada al costo, requerimientos de nutrientes de los animales e ingesta; y en los límites de alimentación se tomaron en cuenta la dieta, fracción de fibra, proteína cruda y forraje.

En el segundo modelo se examinaron los cambios en los costos de la dieta, las emisiones de metano, la excreción de los animales y políticas hipotéticas ambientales. Sumando los costos de la dieta y el costo total de las emisiones sujeto a las restricciones nutricionales. Por último, en el tercer modelo se examinaron los cambios en los costos de las dietas y la excreción de nitrógeno, metano y otros minerales, así como en la reducción de estos a una cantidad determinada. Los costos marginales de reducir el metano a través de la manipulación dietética fueron extremadamente altos, sugiriendo que las políticas hipotéticas podrían conducir a un aumento en los precios de la leche y una reducción sustancial en los ingresos sobre los costos de alimentación de los productores lecheros.

En general, las excreciones de nitrógeno se incrementaron con una reducción en las emisiones de metano, mientras que las excreciones de fósforo y potasio fluctuaron con diferentes niveles de reducción de emisiones de metano. Van Middelaar *et al.* (2014) propusieron dos modelos con el objetivo de maximizar los ingresos de los agricultores y minimizar los GEI por kilogramo de leche. El primer modelo incluye todas las actividades y limitaciones relevantes que son comunes a las granjas lecheras holandesas, tales como la producción de alimentos en la granja, la compra de productos alimenticios y la producción animal, incluida la cría de ganado joven. En el segundo modelo,

los procesos incluidos son la extracción de materias primas para producir insumos agrícolas, la fabricación y distribución de estos insumos y todos los procesos en la granja lechera. Los resultados se basan en maximizar el ingreso laboral. Por ejemplo, en verano la forma más económica de alimentarlos es con el pastoreo por la cantidad de pasto fresco más ensilaje de maíz en combinación con concentrados con alto contenido de proteína. A diferencia del invierno donde su dieta contiene 2.7 kg de ensilaje de hierbas más la combinación con concentrados de proteína. Estos resultados implican que las granjas lecheras pueden reducir su efecto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero cuando se busca un aumento en la eficiencia. Los resultados de los escenarios con mayor producción de leche se basan en minimizar las emisiones de gases de efecto invernadero por kilogramo de leche. Sin embargo, dado que el fin es maximizar los ingresos de los productores y no ofrece ningún incentivo para reducir las emisiones de GEI, ya que, para eso, las emisiones de GEI tendrían que resultar en un costo, por ejemplo, tener una multa o penalización por emisiones GEI.

Ross et al. (2014) proponen mejorar la producción de leche mediante la alimentación y la genética del ganado para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de los sistemas de producción lechera. Estos autores investigaron la intensidad de las emisiones definidas como el potencial de calentamiento global por unidad de producción de leche. Manejaron dos dietas de alto forraje (concentrados comprados como trigo, granos de destilería, pulpa de remolacha azucarera (*Beta vulgaris* L.), harina de soya (*Glycine max* L.) y bajo forraje (cultivados en casa como ensilaje de avena, maíz, trigo y comprados como granos de destilería, harina de colza (*Brassica napus* L.) aplicados a cada una de las dos líneas genéticas. La línea de control representa la genética promedio del Reino Unido y la línea select representa el 5% superior de la genética del Reino Unido para la grasa y la proteína de la leche.

Estimaron que la línea select de animales administrados bajo un régimen de bajo forraje tiene el potencial de reducir la intensidad de las emisiones en 24% en comparación con las vacas de mérito genético manejadas bajo un régimen de alto forraje. Individualmente, la mejora del mérito genético de la manada y la implementación del régimen de bajo forraje mantienen potencial para reducir la intensidad de las emisiones en 9% y 16%, respectivamente. Los factores clave en las diferencias en-

tre los sistemas fueron mayores emisiones de la granja bajo régimen de bajo forraje, y mayores emisiones de óxido nitroso en la granja asociadas con forraje alto. En contraste con las emisiones globales, la intensidad de las emisiones fue menor en los grupos de bajo forraje que en los grupos de alto forraje debido a la alta producción de leche en los grupos de bajo forraje.

Autores como, Zehetmeier et al. (2014) desarrollaron un modelo estocástico con el fin de ser más robusto en las predicciones basadas en los parámetros de entrada (emisión de GEI y producción) y sus incertidumbres. Exploraron cuán sensibles son las predicciones de las emisiones de gases de efecto invernadero a tres factores; el primero, considerando los límites del sistema (todas las emisiones de GEI se asignan a la leche o las emisiones se deben a la carne de vacuno), el segundo, a la incertidumbre de los parámetros de entrada debido a la calidad de los datos y tercero, a la variabilidad en los parámetros de entrada. Los resultados que utilizan la expansión del sistema son importantes para definir las políticas de reducción de gases de efecto invernadero para la producción de leche y carne (razas de doble propósito). Además, los sistemas de producción de vacas lecheras de doble propósito y bajo rendimiento (mayor producción de carne por tonelada de leche) dieron como resultado menores emisiones de gases previstas en comparación con el sistema de producción de vacas lecheras.

Minchin et al. (2009) formularon cuatro tratamientos dietéticos: ensilaje de hierba *ad libitum* (GS), GS+3 kg de concentrado (GS+3), GS+6 kg de concentrado (GS+6) y GS+9 kg de concentrado (GS+9). Las dietas basadas en ensilaje de hierba, tienen el objetivo de tener la mejor carne. Cuando las vacas consumen ensilaje de hierba como su única fuente de energía, la ingesta de energía disponible puede no ser adecuada para cumplir con los niveles requeridos de rendimiento animal y depende de la calidad del ensilado de hierba que se ofrece. El ensilaje ofrecido en este experimento fue, de alta calidad que es superior al ofrecido generalmente a nivel de las granjas comerciales en Irlanda. Los datos relacionados con el rendimiento en vivo se analizaron mediante análisis de covariables. Los datos de calidad y carne se analizaron mediante análisis de varianza. El rendimiento en términos de aumento de peso diario promedio e ingestas de materia seca fue similar al de las vacas lecheras que ofrecieron acceso libre a una ración mixta total por períodos. Estos resultados fueron más altos que los de las vacas lecheras alimentadas con raciones de alto forraje.

Los animales alimentados con concentrado tenían un color muscular más claro y lo relacionaron con un aumento en el veteado y valores de reflectancia incrementados en su tejido. Los concentrados tienen una concentración de caroteno más baja que el ensilado de hierba, por lo tanto, la alimentación prolongada de dietas de alto concentrado conduce a una disminución en la cantidad de este pigmento en grasa. La alimentación concentrada sola puede no conducir necesariamente a una grasa de canal más blanca; depende del grado de pigmentación de los carotenoides antes del inicio del acabado, del cumplimiento de los ingredientes en la dieta ofrecida, de la duración de la alimentación del concentrado y del contenido de carotenoides del forraje alimentado. El presupuesto de alimento requerido para terminar las vacas lecheras "desechables" (para utilizar la carne) independientemente del tratamiento dietético fue de 1.5 t de materia seca. Sin embargo, al ofrecer la dieta de finalización de menor energía, los días comprometidos para el sacrificio y el aumento de peso diario promedio, la oferta de una dieta con mayor cantidad de energía aumentó los costos del presupuesto de alimentación. Las vacas jóvenes tienen la mayor capacidad de responder a las dietas debido a un aumento de peso diario promedio superior y es probable que sean una opción más viable

CONCLUSIONES

De acuerdo con el Plan Nacional de Desarrollo en el cual se contemplan aspectos esenciales de la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) planteada en el 2007, México se sumó a los esfuerzos globales para mitigar los efectos de cambio climático. Los rumiantes juegan un papel importante en proveer proteína de alta calidad a la dieta de los humanos; no obstante, también son una fuente importante de emisiones de GEI. En este sentido, los objetivos planteados por el ENCC para mitigar la emisión GEI en materia de ganadería no están bien definidos y para llegar a esto hay diversas estrategias. A nivel mundial se han desarrollado una variedad de modelos matemáticos para estimar las emisiones de GEI provenientes de la ganadería y aunado a lo anterior se han propuesto estrategias para mitigar dichas emisiones; sin embargo, existe poca literatura científica en la cual se reporte el desarrollo de modelos matemáticos de optimización que permitan simular y así a apoyar a la toma de decisiones para evitar incrementos significativos en las emisiones de GEI provenientes de las explotaciones ganaderas.

LITERATURA CITADA

- Baek C.Y., Kun-Mo L., Kyu-Hyun P. 2014. Quantification and control of the greenhouse gas emissions from a dairy cow system. *Journal of Cleaner Production* 70.
- Castelán-Ortega O.A., Martínez-García C.G., Mould F.L., Dorward P., Rehman T., Rayas-Amor A.A. 2016. Optimal management of on-farm resources in small-scale dairy systems of Central Mexico: model development and evaluation. *Tropical Animal Health and Production*, 48.
- Djumaeva D., Djanibekov N., Vlek P.L.G., Martius C., Lamers J.P.A. 2009. Options for Optimizing Dairy Feed Rations with Foliage of Trees Grown in the Irrigated Drylands of Central Asia, *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences* 698.
- Hawkins J., Weersink A., Wagner-Riddle C., Fox G. 2015. Optimizing ration formulation as a strategy for greenhouse gas mitigation in intensive dairy production systems. *Agricultural Systems* 137.
- Minchin W., Buckley F., Kenny D.A., Monahan F.J., Shalloo L., O'Donovan M. 2009. Effect of grass silage and concentrate based finishing strategies on cull dairy cow performance, carcass and meat quality characteristics. *Meat Science*, 93.
- Moraes L.E., Wilen J.E., Robinson H., Fadel J.G. 2012. A linear programming model to optimize diets in environmental policy scenarios. *American Dairy Science association* 1267.
- Ross A.S., Mizeck Chagunda G.G., Cairistiona Topp F.E., Richard E. 2014. Effect of cattle genotype and feeding regime on greenhouse gas emissions intensity in high producing dairy cows. *Livestock Science* 158.
- Van Middelaar C.E., Berentsen B.M., Dijkstra J., Van Arendonk J.A.M., de Boer I.J.M. 2014. Methods to determine the relative value of genetic traits in dairy cows to reduce greenhouse gas emissions along the chain. *American Dairy Science association*, 5192.
- Zehetmeier A.M., Gandorfer M., Hoffmann H., Müller U.K., de Boer I.J.M., Heißenhuber A. 2014. The impact of uncertainties on predicted greenhouse gas emissions of dairy cow production systems. *Journal of Cleaner Production*, 116.



EMPIRICAL LINEAR REGRESSION MODEL USED TO ESTIMATE METHANE EMISSION IN DAIRY CATTLE

MODELO DE REGRESION LINEAL EMPIRICO PARA ESTIMAR LA EMISION DE METANO EN BOVINOS LECHEROS

Rayas-Amor, A.A.^{1*}; Martínez-García, C.G.²; García-Martínez, A.³; Herrera-Hernández, E.C.⁴; Núñez-López, M.^{5*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Estado de México, C.P. 52005.

²Universidad Autónoma del Estado de México Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, El Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México. ³Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec., Temascaltepec, Estado de México, México. ⁴CONACYT-Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, Av. Playa pie de la cuesta 702, Desarrollo Sn. Pablo, 76125, Querétaro, Querétaro, México. ⁵ITAM, Departamento de Matemáticas, Río Hondo 1, Ciudad de México 01080, México.

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

ABSTRACT

Objective: To develop an empirical linear regression model from published data to estimate the CH₄ production in ruminants based on dry matter intake.

Design/methodology/approach: The present work consisted in conducting a search of scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the keywords: model, intake, dry matter, methane, estimation.

Results: Two linear regression models are shown, the first with $R^2=0.073$ that explained 73% of the variability of data and a second with a $R^2=0.95$ that explained 95% of the variability to estimate the CH₄ enteric emissions from dry matter intake.

Study limitations/implications: Because the models generated in this study were obtained from data published in the scientific literature, future research is required to validate the estimates *in vivo* of the proposed empirical linear regression models.

Findings/conclusions: The models presented could be applied to estimate the emissions of CH₄ per animal per day in dairy and beef cattle, although it is possible to estimate the emission of CH₄ in sheep and goats as well, especially the model with a coefficient of determination that explained 73 percent of the variability of the data.

Keywords: model, intake, dry matter, methane, estimation.

RESUMEN

Objetivo: desarrollar un modelo empírico de regresión lineal a partir de datos publicados para estimar la producción de CH₄ en rumiantes empleando el consumo de materia seca.

Diseño/metodología/aproximación: el presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect con las palabras clave modelo, consumo, materia seca, metano, estimación.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 71-76.

Recibido: agosto, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.



Resultados: se muestran dos modelos de regresión lineal, el primero con un coeficiente de determinación que explicó el 73% de la variabilidad de los datos y un segundo con un coeficiente de determinación que explicó el 95% de la variabilidad para estimar el CH₄ a partir del consumo de materia seca.

Limitaciones del estudio/implicaciones: ya que los modelos generados en este estudio fueron obtenidos a partir de datos publicados en la literatura científica, se requieren futuras investigaciones para validar *in vivo* las estimaciones de los modelos de regresión lineal empíricos propuestos.

Hallazgos/conclusiones: los modelos presentados podrían ser aplicados para estimar la emisión de CH₄ por animal por día en ganado bovino de leche y carne, aunque también pueden estimar la emisión de CH₄ en ovinos y caprinos, especialmente el modelo con coeficiente de determinación que explicó el 73 por ciento de la variabilidad de los datos.

Palabras clave: modelo, consumo, materia seca, metano, estimación

INTRODUCCIÓN

Los modelos de predicción se han utilizado ampliamente para estimar variación en las emisiones de metano (CH₄) para gran variedad de propósitos (Kebreab *et al.*, 2006). Muchos países y regiones del mundo han establecido objetivos para la reducción de gases de efecto invernadero incluyendo el CH₄. Por ejemplo, California recientemente aprobó una legislación que ordena una reducción para el año 2030 en la emisión de CH₄ a nivel estatal en 40% inferior respecto a los niveles de 2013 (Hristov CH₄., 2018). La evaluación de la emisión de referencia en 2013 se determinó utilizando modelos matemáticos, en particular los recomendados por el IPCC (2006), y se utilizan en casi todos los inventarios nacionales. Por lo tanto, la precisión del modelo utilizado es importante para establecer y evaluar objetivos alcanzables. Como los modelos existentes se basan en bases de datos limitadas, se requieren modelos precisos para establecer la línea de base para evaluar cualquier reducción en las emisiones o estimar las emisiones globales de CH₄ atribuibles a la fermentación entérica, donde los conjuntos de datos utilizados para el desarrollo del modelo de predicción de emisiones de CH₄ este compuesto de datos de múltiples fuentes.

Las predicciones de emisiones de CH₄ entérico se han obtenido usando diferentes tipos de modelos, los cuales estiman las emisiones de CH₄ se pueden caracterizar ampliamente como empíricos por ejemplo los de Ramin y Huhtanen (2013), o bien, mecánicos, por ejemplo, Baldwin (1995) y Mills *et al.* (2001). De acuerdo con Hristov *et al.* (2018) los modelos empíricos se basan en asociaciones matemáticas o estadísticas de la ingesta de dieta, su composición y otros factores animales con las emisiones entéricas de CH₄, mientras que los modelos mecánicos se basan en principios bioquímicos, metabólicos y fisiológicos, e intentan simular las emisiones entéricas de CH₄ basándose en una descripción matemática de la fermentación bioquímica como la ingesta de materia seca (MS) que es un factor

importante en los modelos de predicción de CH₄ entérico. Los modelos que predicen el consumo de materia seca (CMS) total pueden ser utilizados junto con factores de emisión para estimar las emisiones entéricas de CH₄, o como menciona Appuhamy *et al.* (2016), los modelos que utilizan estimados del CMS predicen las emisiones de CH₄ entérico con tanta precisión como los modelos que utilizan datos obtenidos directamente de la medición del CMS; por lo tanto, los modelos menos complejos que requieren solo el CMS presentan capacidad comparable a los modelos más complejos. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo empírico de regresión lineal para estimar la producción de CH₄ en rumiantes.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una revisión de literatura de artículos científicos publicados en revistas indexadas en el Journal Citation Reports de cinco años (2013 al 2017). Las palabras clave de búsqueda fueron; *methane, ruminant, prediction, cattle, beef, dairy, sheep, modeling*. La máquina de búsqueda empleada para identificar publicaciones, tales como artículos, capítulos de libros y contenido de acceso abierto revisadas por pares académicos fue SCIENTIFIC DIRECT (www.sciencedirect.com). Al colocar las palabra clave *methane* en la máquina de búsqueda se obtuvo un listado de 271181 artículos que posteriormente se depuro mediante la inclusión de las otras palabras clave hasta obtener 205 artículos aproximadamente y de estos se seleccionaron los artículos de; Ramin y Huhtanen (2013), Castelán-Ortega *et al.* (2014), Huhtanen *et al.* (2015), Charmley *et al.* (2016) y Stergiadis *et al.* (2016) debido a que sus palabras

clave estuvieron estrechamente relacionadas con las palabras clave de la búsqueda.

Antecedentes de la base de datos

En Ramin y Huhtanen (2013) se analizó un conjunto de datos que incluyó un total de 298 tratamientos de 52 publicaciones con 207 dietas de ganado bovino y 91 de ovinos, se incluyeron dietas hasta con el 75% de concentrado. En el estudio de Castelán-Ortega et al. (2014) se realizó una estimación del inventario nacional de CH₄ producido por la fermentación entérica del ganado bovino en México, realizado a partir de tres modelos matemáticos; no obstante, para nuestro estudio se utilizó el modelo de Kurihara et al. (1999) aplicado en Castelán-Ortega et al. (2014), debido a que fue desarrollado para estimar la emisión de CH₄ de ganado alimentado con dietas tropicales. En el estudio de Huhtanen et al. (2015) se revisaron los módulos de digestión y emisiones de CH₄ del modelo mecanístico y dinámico (modelo Nórdico de bovino lechero-Karoline) en el cual se empleó un modelo cuadrático para estimar las emisiones de CH₄. En Charmley et al. (2016), se obtuvieron datos de estudios realizados en los últimos 10 años utilizando cámaras de respiración de circuito abierto, en donde el ganado había sido alimentado con dietas basadas en forraje mayor a 70%. Las dietas consideradas para inhibir la metanogénesis se omitieron del conjunto de datos para obtener su

modelo predictivo. Los datos se obtuvieron de ganado lechero alimentado con forrajes de clima templado (220 registros), ganado de carne alimentado con forrajes de clima templado (680 registros) y ganado de carne alimentado con forrajes tropicales (133 registros). En el estudio de Stergiadis et al. (2016) se obtuvieron ecuaciones de predicción derivadas de un estudio con 25 bovinos no lactantes, no preñadas y alimentadas con pasto fresco para simular las condiciones de alimentación de sistemas basados en pastoreo y con bajos niveles de alimentación.

Modelo de regresión lineal empírico

En el presente estudio se definió que el modelo empírico para estimar la producción de CH₄ para ganado lechero, de carne y ovinos tendría las unidades en (L/d) y que sería calculado a partir del consumo de materia seca total (CMS) ya que de acuerdo con Ramin y Huhtanen (2013), Huhtanen et al. (2015) y Charmley et al. (2016) el consumo de materia seca es el principal determinante de la producción total de CH₄ por animal por día y que la composición de los carbohidratos en la dieta tiene un efecto menor, adicionalmente es un dato que puede estimarse con relativa facilidad cuando el ganado está en condiciones de estabulación o pastoreo. Los CMS en ganado bovino que se emplearon en este estudio para estimar la producción total de CH₄ por día se muestran en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Consumo de materia seca total (kg vaca⁻¹) en ganado bovino lechero e ingredientes comúnmente empleados en la alimentación.

Referencia	CMS	Ingredientes	
Martínez-García et al. (2015)	12, 14, 15, 20	Praderas	Ryegrass anual, festuca, orchard, trébol blanco, pradera nativa dominada por pasto kikuyo
		Forrajes	Avena fresca, henilaje de alfalfa, heno de avena, ensilado de maíz
		Pajas y rastrojos	Avena, cebada, trigo, maíz, sorgo
		Concentrado	Comercial-18% PC, maíz molido, maíz rolo, salvado
Alfonso-Ávila et al. (2012)	12, 13, 14	Praderas	Ryegrass anual, festuca, orchard, trébol blanco
		Forrajes	Avena fresca, henilaje de alfalfa, heno de avena, ensilado de maíz
		Pajas y rastrojos	Avena, cebada, trigo, maíz, sorgo
		Concentrado	Comercial-18% PC, maíz molido, maíz rolo, salvado
Hernández-Ortega et al. (2011)	14, 15	Praderas	Mezcla de ryegrass perenne y trébol blanco
		Forrajes	Ensilado de ryegrass anual mezclado con veza de invierno
		Pajas y rastrojos	No ofrecidos
		Concentrado	Comercial-18% PC
Anaya-Ortega et al. (2009)	13, 14, 15	Praderas	Mezcla de ryegrass perenne y trébol blanco Mezcla de ryegrass anual y trébol blanco
		Forrajes	Ensilado de ryegrass anual mezclado con veza de invierno
		Concentrado	Comercial-18% PC

En los modelos propuestos por Ramin y Huhtanen (2013) y Huhtanen *et al.* (2015) la predicción total de CH₄ por animal está dada en litros por día (L d⁻¹) mientras que en los modelos propuestos por Kurihara *et al.* (1999) empleado en Castelán-Ortega *et al.* (2014), Charmley *et al.* (2016) y Stergiadis *et al.* (2016) se da en gramos por día (g d⁻¹); por lo tanto, para estos modelos predictivos los resultados se convirtieron a L d⁻¹ mediante la ecuación de los gases [Presión (atm) * Volumen (L)=n (número de moles) * R (constante universal de los gases) * Temperatura (°K)]. El desarrollo de los modelos predictivos y cálculos se realizaron en Microsoft Excel[®] 2010.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 1a se muestran las estimaciones de la producción de metano en rumiantes (bovino lechero, bovino de carne y ovinos), empleando los modelos predictivos publicados por los autores antes mencionados, observándose una sobreestimación en el modelo de Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014) con respecto a los otros cuatro modelos. La Figura 1b muestra el modelo de regresión empírico propuesto para estimar la producción metano en bovino lechero. Se observa que el modelo explica 73.7% de la variabilidad del conjunto de estimaciones de metano en un rango de CMS de 1 a 20 kg.

La Figura 2 propone un modelo de regresión lineal empírico generado a partir de las estimaciones de los modelos mencionados; no obstante, este modelo no consideró las estimaciones del modelo Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014). Se observa que el coeficiente de regresión incrementó en 0.218 con respecto al modelo empírico de la Figura 1b, explicando un 95.5% de la variabilidad de las estimaciones de los modelos.

En el Cuadro 2 se muestra la comparación de los valores estimados de la producción de metano de los modelos publicados y del modelo de regresión lineal empírico propuesto en la Figura 2. Cuando se simuló el CMS de 1 a 7 kg de MS no se observaron diferencias significativas (P>0.05) entre los modelos publicados y el modelo de regresión lineal empírico propuesto, no obstante, cuando se simuló el CMS de 8 a 20 kg de MS el modelo de Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014) sobreestimó la producción de CH₄ con respecto a los modelos publicados y al modelo empírico propuesto, en este sentido el modelo de Stergiadis *et al.* (2016) mostró estimaciones diferentes significativas

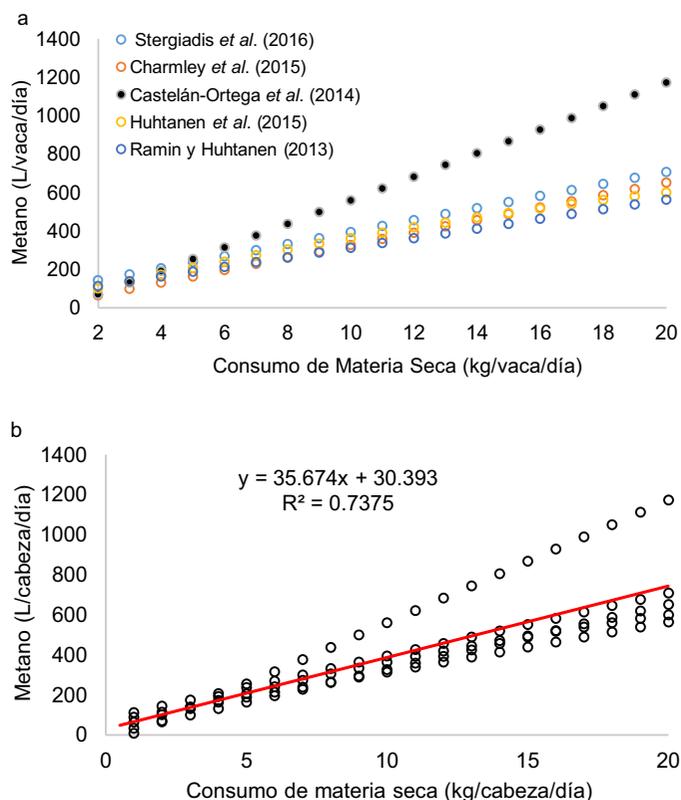


Figura 1. (a) Modelos de predicción de emisión de metano en bovino lechero y (b) modelo de regresión lineal empírico propuesto (línea sólida de color rojo) para estimar la producción metano en bovino lechero obtenido a partir de la revisión de los modelos publicados.

(P<0.001) cuando se simuló el CMS entre 13 y 20 kg MS con respecto a los otros modelos publicados y al modelo empírico propuesto. Las estimaciones más bajas se observaron con el modelo de Ramin y Huhtanen (2013), cuyas estimaciones no presentaron diferencias significativas (P>0.05) cuando se simuló el CMS de 1 a 20 kg MS con respecto a los modelos de Charmley *et al.* (2016), Huhtanen *et al.* (2015), y al modelo de regresión empírico propuesto.

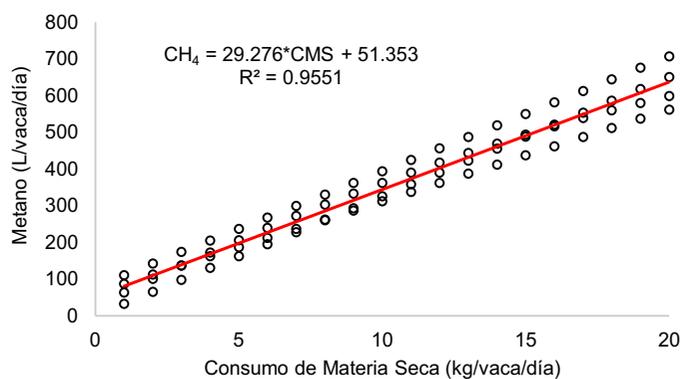


Figura 2. Modelo de regresión lineal empírico propuesto (línea sólida de color rojo) para estimar la producción metano en bovino lechero sin el modelo Kurihara *et al.* (1999) aplicado en Castelán-Ortega *et al.* (2014).

Cuadro 2. Comparación de la estimación de metano empleando los modelos de regresión publicados y el modelo de regresión empírico propuesto, a partir del consumo de materia seca total.

CMS (kg d ⁻¹)	Stergiadis <i>et al.</i> (2016)	Charmley <i>et al.</i> (2016)	Huhtanen <i>et al.</i> (2015)	Ramin y Huhtanen (2013)	Castelán- Ortega <i>et al.</i> (2014)	Empírico	E.E.M.	Valor-P
	Producción de CH ₄ (L/vaca/día)							
1	111 ^a	33 ^a	63 ^a	87 ^a	8 ^a	73 ^a	15.2	Ns
2	142 ^a	65 ^a	101 ^a	112 ^a	69 ^a	105 ^a	11.7	Ns
3	174 ^a	98 ^a	137 ^a	137 ^a	130 ^a	136 ^a	9.9	Ns
4	205 ^a	130 ^a	172 ^a	162 ^a	192 ^a	167 ^a	10.6	Ns
5	236 ^a	163 ^a	206 ^a	187 ^a	253 ^a	198 ^a	13.4	Ns
6	268 ^a	195 ^a	239 ^a	212 ^a	314 ^a	229 ^a	17.5	Ns
7	299 ^a	228 ^a	272 ^a	237 ^a	375 ^a	259 ^a	22.0	Ns
8	331 ^a	260 ^a	303 ^a	262 ^a	437 ^b	289 ^a	26.9	**
9	362 ^a	293 ^a	333 ^a	287 ^a	498 ^b	319 ^a	31.9	**
10	393 ^a	325 ^a	362 ^a	312 ^a	559 ^b	348 ^a	37.0	**
11	425 ^a	358 ^a	390 ^a	337 ^a	620 ^b	378 ^a	42.3	**
12	456 ^a	390 ^a	418 ^a	362 ^a	682 ^b	407 ^a	47.6	**
13	487 ^a	423 ^b	444 ^b	387 ^b	743 ^c	435 ^b	53.0	***
14	519 ^a	456 ^b	469 ^b	412 ^b	804 ^c	464 ^b	58.4	***
15	550 ^a	488 ^b	493 ^b	437 ^b	866 ^c	492 ^b	63.9	***
16	581 ^a	521 ^b	516 ^b	462 ^b	927 ^c	520 ^b	69.5	***
17	613 ^a	553 ^b	539 ^b	487 ^b	988 ^c	548 ^b	75.2	***
18	644 ^a	586 ^b	560 ^b	512 ^b	1049 ^c	575 ^b	80.9	***
19	676 ^a	618 ^b	580 ^b	537 ^b	1111 ^c	603 ^b	86.7	***
20	707 ^a	651 ^b	599 ^b	562 ^b	1172 ^c	630 ^b	92.5	***

Diferentes superíndices entre columnas representan diferencias significativas. NS: no significativo ($P > 0.05$); **: $P < 0.01$; ***: $P < 0.001$. CMS: consumo de materia seca total; E.E.M.: error estándar de la media.

El metanálisis realizado por Charmley *et al.* (2016) se basó en una gran base de datos de Australia (1,033 observaciones), hasta el momento es el estudio que ha involucrado la mayor cantidad de observaciones que incluyen datos de ambos; ganado bovino lechero y de carne, mostrando claramente la fuerte relación positiva entre el CMS y las emisiones de CH₄ ($R^2=0.92$) con un intercepto cercano a cero cuando se empleó un rango de CMS de 2 a 28 kg d⁻¹. En este estudio se propone un modelo de regresión lineal empírico que tiene una pendiente que indica que, por cada kg incrementado en el CMS, se incrementa la producción de CH₄ en 29.2 L vaca día⁻¹ y el intercepto indica que cuando la vaca no CMS, la producción de metano es de 51.3 (L vaca día⁻¹). Este intercepto fue menor a lo reportado por Stergiadis *et al.* (2016) de 80 (L d⁻¹) y Castelán-Ortega *et al.* (2014) de 65 (L d⁻¹) pero superior a lo reportado por (Charmley *et al.* (2016) de 33 (L d⁻¹) y de 25 (L d⁻¹) en lo reportado por Ramin y Huhtanen (2013) y Huhtanen *et al.* (2015).

En este sentido, como lo menciona Hristov *et al.* (2018), la precisión del modelo utilizado es importante para establecer y evaluar objetivos alcanzables en cuanto a estrategias de mitigación se refiere. Como los modelos existentes se basan en bases de datos de cierta manera limitadas, se requieren modelos más precisos (sin la necesidad de ser complejos) para establecer la línea de base para evaluar cualquier reducción en las emisiones o estimar las emisiones globales de CH₄ atribuibles a fermentación entérica.

CONCLUSIONES

Se presenta un modelo de regresión lineal empírico, aplicando las estimaciones de cuatro modelos para estimar la producción de metano en ruminantes a partir del consumo de materia seca por animal por día, observándose un coeficiente de determinación que explica 95% de la variabilidad de los datos. Este modelo podría ser aplicado para estimar la emi-

sión de CH₄ por animal por día en ganado bovino de leche y carne, aunque también puede estimar las emisiones en ovinos y caprinos, especialmente el modelo con coeficiente de determinación que explico el 73% de la variabilidad de los datos. Futuras investigaciones se requieren para validar *in vivo* las estimaciones de los modelos de regresión lineal empíricos propuestos.

LITERATURA CITADA

- Alfonso-Ávila A.R., Wattiaux M.A., Espinoza-Ortega A., Sánchez-Vera E. and Arriaga-Jordán C.M. 2012. Local feeding strategies and milk composition in small-scale dairy production systems during the rainy season in the highlands of Mexico. *Trop Anim Health Prod.*, 44, 637-644.
- Anaya-Ortega J.P., Garduño-Castro G., Espinoza-Ortega A., Rojo-Rubio R., Arriaga-Jordán C.M. 2009. Silage from maize (*Zea mays*), annual ryegrass (*Lolium multiflorum*) or their mixture in the dry season feeding of grazing dairy cows in small-scale campesino dairy production systems in the Highlands of Mexico. *Trop Anim Health Prod.*, 41, 607-616.
- Appuhamy J. A. D. R. N., Moraes L. E., Wagner-Riddle C., Casper D. P., Kebreab E. 2018. Predicting manure volatile solid output of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.* 101:820-829.
- Baldwin R. L. 1995. Modeling Ruminant Digestion and Metabolism. Chapman & Hall, London, UK.
- Castelán-Ortega O.A., Martínez-García C.G., Mould F.L., Dorward P., Rehman T., Rayas-Amor A.A. 2016. Optimal management of on-farm resources in small-scale dairy systems of Central Mexico: model development and evaluation. *Trop Anim Health Prod.* 48.
- Charmley E., Williams S. R. O., Moate P. J., Hegarty R. S., Herd R. M., Oddy V. H., Reyenga P., Staunton K. M., Anderson A., Hannah M. C. 2016. A universal equation to predict methane production of forage-fed cattle in Australia. *Anim. Prod. Sci.*, 56, 169-180.
- Hernández-Ortega M., Heredia-Nava D., Espinoza-Ortega A., Sánchez-Vera E. Arriaga-Jordán C.M. 2011. Effect of silage from ryegrass intercropped with winter or common vetch for grazing dairy cows in small-scale dairy systems in Mexico. *Trop Anim Health Prod.*, 43, 947-954.
- Hristov A.N., Kebreab E., Niu M., J. Oh, Bannink A., Bayat A. R., Boland T. M., Brito A. F., Casper D. P., Crompton L. A., J Dijkstra, Eugène M., Garnsworthy P. C., Haque N., Hellwing A. L. F., Huhtanen P., Kreuzer M., Kuhla B., Lund P., Madsen J., Martin C., Moate P. J., Muetzel S., Muñoz C., Peiren N., Powell J. M., Reynolds C. K., Schwarm A., Shingfield K. J., Storlien T. M., Weisbjerg M. R., Yáñez-Ruiz D. R., Yu Z. 2018. Symposium review: Uncertainties in enteric methane inventories, measurement techniques, and prediction models. *J. Dairy Sci.*, 101, 6655-6674.
- Huhtanen P., Ramin M., Udén P. 2015. Nordic dairy cow model Karoline in predicting methane emissions: 1. Model description and sensitivity analysis. *Livest. Sci.*, 178, 81-93.
- IPCC. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa, Japan.
- Kurihara M., Magner T., Hunter R. A., McCrabb G. J. 1999. Methane production and energy partition of cattle in the tropics. *Brit. J. Nutr.*, 81, 227-234.
- Martínez-García C.G., Rayas-Amor A. A., Anaya-Ortega J.P., Martínez-Castañeda F.E., Espinoza-Ortega A., Prospero-Bernal F., Arriaga-Jordán C. M. 2015. Performance of small-scale dairy farms in the highlands of central Mexico during the dry season under traditional feeding strategies. *Trop Anim Health Prod.*, 47, 331-337.
- Mills J. A. N., Dijkstra J., Bannink A., Cammell S. B., Kebreab E., France J. 2001. A mechanistic model of whole-tract digestion and methanogenesis in the lactating dairy cow: Model development, evaluation, and application. *J. Anim. Sci.*, 79, 1584-1597.
- Kebreab E., Clarke K., Wagner-Riddle C., France J. 2006. Methane and nitrous oxide emissions from Canadian animal agriculture—A review. *Can. J. Anim. Sci.* 86, 135-158.
- Ramin M., Huhtanen P. 2013. Development of equations for predicting methane emissions from ruminants. *J. Dairy Sci.* 96:2476-2493.
- Stergiadis S., Zou C., Chena X., Allene M., Willsa D., Yana T. 2016. Equations to predict methane emissions from cows fed at maintenance energy level in pasture-based systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 220, 8-20.



EFFECT OF FEEDING LEVEL ON *IN VITRO* METHANE GAS PRODUCTION

EFFECTO DEL NIVEL DE ALIMENTACION SOBRE LA PRODUCCION DE GAS METANO *IN VITRO*

Mendez Manzano E.¹, Cisneros-García, I.², Cruz Monterrosa R.G.², Miranda de la Lama G.C.², Díaz Ramírez M.², Ramírez Lubianos C.², Jiménez Guzmán J.², García Garibay M.², Núñez López M.^{3*}, Rayas Amor A.A.^{2*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Licenciatura en Biología Ambiental. Lerma de Villada, Estado de México, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma Departamento de Ciencias de la Alimentación. Lerma de Villada, Estado de México, México. ³ITAM, Departamento de Matemáticas, Río Hondo 1, Ciudad de México 01080, México.

*Autor de correspondencia: a.rayas@correo.ler.uam.mx; maynunlop@gmail.com

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of four levels of simulated *in vitro* feeding on the production of *in vitro* methane.

Design/methodology/approach: The simulated levels of feeding *in vitro* were: 5.7 kg DM, 11.9 kg DM, 19.5 kg DM and 21.8 kg DS since these levels of feeding can be found *in vivo* in different livestock farms in the world. The technique of *in vitro* gas production was used to incubate samples of native grass dominated by *Penisetum clandestinum* (80%) and weeds (20%) in four levels; DM0.57, DM1.19, DM1.95, DM2.18 at 12, 24, 48 and 72 h.

Results: Significant differences ($p < 0.05$) were found between the different levels of DM at 12 hours, with DM0.57 and DM1.19 being different from DM1.95, DM2.18. At 24 h DM0.57 presented the lowest concentration and was significantly different ($P < 0.05$) of the other levels of DM. At 48 and 72 h, DM1.19 was significantly different ($P < 0.05$) than the rest of the levels studied since it presented the lowest concentration of CH_4 , while DM0.57 at 72 h presented the highest concentration of CH_4 .

Study limitations/implications: The results of this study were obtained from an *in vitro* study, therefore, they are not directly applicable to enteric emissions *in vivo*; however, they represent an approximation to how much metabolizable energy can be lost in the form of methane.

Findings/conclusions: A linear effect was observed from the four levels of feeding simulated *in vitro* over the accumulated production of methane at 12 h post-incubation. The levels DM0.57 and DM1.19 presented the lowest methane production at 24 and 48 h, respectively.

Keywords: methane, *in vitro*, dry matter level.

RESUMEN

Objetivo: evaluar el efecto de cuatro niveles de alimentación simulados *in vitro* sobre la producción de metano *in vitro*.

Diseño/metodología/aproximación: Los niveles de alimentación simulados *in vitro* fueron; 5.7 kg MS, 11.9 kg MS, 19.5 kg MS y 21.8 kg MS ya que estos niveles de alimentación pueden presentarse *in vivo* en diferentes explotaciones ganaderas del mundo. Se utilizó la técnica de producción de gas *in vitro* para incubar muestras de pasto nativo dominado por *Penisetum clandestinum* (80%) y malezas (20%) en cuatro niveles; MS0.57, MS1.19, MS1.95, MS2.18 a las 12, 24, 48 y 72 h.

Resultados: se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes niveles de MS a las 12 h, siendo diferentes MS0.57 y MS1.19 de MS1.95, MS2.18. A las 24 horas MS0.57 presentó la menor concentración y fue diferente significativamente ($P < 0.05$) de los otros niveles de MS. A las 48 y 72 h MS1.19 fue significativamente diferente ($P < 0.05$) al resto de los niveles evaluados ya que presentó la menor concentración de CH₄ mientras que MS0.57 a las 72 h, presentó la mayor concentración de CH₄.

Limitaciones del estudio/implicaciones: los resultados de este trabajo fueron obtenidos a partir de un estudio *in vitro*; por lo tanto, no son aplicables directamente a las emisiones entéricas *in vivo*, no obstante, se tiene una aproximación de cuanta energía metabolizable se puede perder en forma de metano.

Hallazgos/conclusiones: se observó un efecto lineal de los cuatro niveles de alimentación simulados *in vitro* sobre la producción acumulada de metano a las 12 h posterior a la incubación. Los niveles MS0.57 y MS1.19 presentaron la menor producción de metano a las 24 y 48 h, respectivamente.

Palabras clave: metano, *in vitro*, nivel de materia seca.

mulados *in vitro* sobre la producción de metano *in vitro*.

MATERIALES Y METODOS

El muestreo se desarrolló en el invernadero de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Lerma (19° 17' 31.38" N; 99° 30' 06.63" O) a una elevación de 2572 m. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C por 24 h, posteriormente las muestras se molieron con un molino a un tamaño de partícula cercano a los 2 mm (AOAC, 2012). La producción de gas se cuantificó mediante la técnica de producción de gas *in vitro* descrita por Theodorou *et al.* (1994). El líquido ruminal se recolectó de una vaca fistulada, múltipara, raza Holstein con peso promedio de 550 kg y alimentación basada en 100% pradera nativa dominada por pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*). La recolección de líquido ruminal se realizó a las 07:00 am, se filtró a través de cuatro capas de tela manta de cielo, y se colocó en un termo calentado previamente a 39 °C, este se transportó rápidamente al laboratorio para la incubación. Se realizaron tres incubaciones por muestra utilizando botellas ámbar de vidrio con capacidad de 120 ml. A cada botella se le adicionaron 80 ml de solución nutritiva (Kansas State) la cual consiste en una solución A (10 g L⁻¹ de KH₂PO₄, 0.5 g L⁻¹ de MgSO₄*7H₂O, 0.5 g L⁻¹ de NaCl, 0.1 g L⁻¹ de CaCl₂*2H₂O, 0.5 g L⁻¹ de urea) y una solución B (9g de Na₂CO₃ y 0.6 g Na₂S*9H₂O diluidos en 60 ml de agua destilada), posteriormente se inoculó con 20 ml de líquido ruminal. La producción de gas metano se cuantificó con un sensor electroquímico acoplado a un analizador portátil (Aeroqual serie 500®) las mediciones se realizaron a las 12, 24, 48 y 72 h post-incubación. La

INTRODUCCIÓN

Los bovinos tienen un sistema digestivo que tiene la capacidad de aprovechar y convertir material fibroso con altos contenidos de carbohidratos estructurales, en alimentos de alta calidad nutritiva, la carne y la leche. Sin embargo, a través del proceso digestivo que estos mismos ejercen se ve favorecida la producción de metano (CH₄), el cual es un potente gas con efecto invernadero que contribuye con aproximadamente 18% del calentamiento global ocasionado por actividades productivas con animales domésticos, superado sólo por el CO₂ (Montenegro, 2000). Se consideran a los bovinos como los principales productores de metano entre los rumiantes domésticos (de 7-9 veces más metano que ovinos y caprinos) lo cual genera alto impacto ambiental (Shibata *et al.*, 2010). El metano es producto de la digestión de la celulosa a través de los microorganismos presentes en este órgano, mientras que alrededor de 20% proviene de la descomposición de la materia fecal (Verge *et al.*, 2007). El CH₄ es un producto final de la fermentación que sufren los alimentos en el rumen, que en términos de energía constituye una pérdida, y en términos ambientales contribuye al calentamiento y cambio climático global. En este tenor, el objetivo fue evaluar el efecto de cuatro niveles de alimentación si-

calibración del sensor electroquímico se realizó en fábrica (Aeroqual Limited 109 Valley Road, Mt Eden, Auckland 1024, New Zealand). Se evaluó el efecto de diferentes concentraciones de pasto nativo en la producción de CH₄. Los niveles de alimentación simulados *in vitro* fueron; 5.7 kg MS, 11.9 kg MS, 19.5 kg MS y 21.8 kg MS ya que estos niveles de alimentación pueden presentarse *in vivo* en diferentes explotaciones ganaderas del mundo, por lo tanto, en la técnica de producción de gas *in vitro* antes mencionada se incubaron muestras de pasto nativo dominado por *Penisetum clandestinum* (80%) y malezas (20%) en cuatro niveles (Cuadro 1), los cuales representaron los tratamientos a evaluar en el experimento *in vitro*.

La producción de CH₄ acumulada se analizó mediante un diseño de bloques completos al azar. El modelo general lineal fue:

$$Y = \mu + T_i + B_j + e_{ij};$$

donde, Y =variable respuesta (CH₄ *in vitro*), μ =media general, T_i =efecto debido al i -ésimo tratamiento (Cuadro 1), B_j =efecto debido a la hora de en el j -ésimo bloque (12, 24, 48 y 72), e_{ij} =error experimental del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque.

La digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) se evaluó mediante un diseño completamente aleatorizado. El modelo general lineal fue:

$$Y = \mu + T_i + e_i;$$

donde, Y =variable respuesta (CH₄ *in vitro*), μ =media general, T_i =efecto debido al i -ésimo tratamiento a las 48 h, e_i =error experimental del i -ésimo tratamiento.

Cuando se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. El análisis estadístico y de regresión lineal se realizaron con el software MINITAB v14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Producción acumulada de metano y digestibilidad *in vitro* de la materia seca

El Cuadro 2 muestra las concentraciones acumuladas de

CH₄ derivadas de la fermentación de la materia seca (MS) en las diferentes horas de medición. Se registraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los diferentes niveles de MS a las 12 h, siendo diferentes MS0.57 y MS1.19 de MS1.95, MS 2.18. A las 24 h MS0.57 presentó la menor concentración y fue diferente significativamente ($P < 0.05$) de los otros niveles de MS. A las 48 y 72 h MS1.19 fue significativamente diferente ($P < 0.05$) al resto de los niveles evaluados ya que presentó la menor concentración de CH₄ mientras que MS0.57 a las 72 h presentó la mayor concentración de CH₄. Con respecto a la digestibilidad *in vitro* de la MS (DIVMS) a las 48 h, no se observaron diferencias significativas ($P > 0.05$) entre los distintos niveles de MS (Cuadro 2).

Cuadro 1. Tratamientos y bloques del diseño estadístico de bloques completos al azar.

Tratamiento	Acrónimo	Bloque (h)
0.57 g de materia seca	MS0.57	12
1.191 g de materia seca	MS1.19	24
1.95 g de materia seca	MS1.95	48
2.18 g de materia seca	MS2.18	72

Cuadro 2. Efecto del nivel de materia seca sobre la producción acumulada de metano (CH₄) a las 72 horas y su digestibilidad *in vitro* (DIVMS) a las 48 horas.

Tratamiento	Producción de CH ₄ (g kg ⁻¹ MS)								DIVMS g kg ⁻¹ MS	
	12 h		24 h		48 h		72 h			
MS0.57	0.1 ^{Aa}	±0.07	1.0 ^{Aa}	±0.68	7.2 ^{Aa}	±2.7	33.6 ^{Ba}	±13.6	588 ^a	±0.06
MS1.19	0.2 ^{Aa}	±0.13	1.8 ^{Ab}	±1.27	2.9 ^{Ab}	±1.5	7.1 ^{Bb}	±6.0	590 ^a	±0.03
MS1.95	0.5 ^{Ab}	±0.39	1.8 ^{Ab}	±0.77	6.6 ^{Ac}	±4.4	13.8 ^{Bc}	±10.5	588 ^a	±0.02
MS2.18	0.6 ^{Ab}	±0.23	2.5 ^{Ac}	±1.67	6.7 ^{Ac}	±5.2	7.8 ^{Bd}	±5.3	593 ^a	±0.06
E.E.M.	0.08		0.31		0.99		3.37		0.001	
Nivel de significancia										
Tratamientos	*		*		*		*		ns	
Bloques	***		***		***		***			

Superíndices en minúsculas refieren a diferencias entre filas y superíndices en mayúsculas refieren a diferencias entre columnas. *= $P < 0.05$, **= $P < 0.001$, ns=no significativo.

Tasa de producción de CH₄ por hora

La tasa de producción de CH₄ por hora se muestra en la Figura 1, observando que, a las 12 h, no hubo diferencias entre los niveles de MS; pero a las 24 h, MS0.57 registró la tasa de producción más baja (0.11 g CH₄ h⁻¹) mientras que MS2.18 la más alta (0.16 g CH₄ h⁻¹). A partir de las 48 h se observó un incremento para el nivel de MS0.57, MS1.19 y MS1.95, siendo MS0.57 el nivel que presentó mayor tasa de producción a las 72 h (1.10 g CH₄ h⁻¹), contrario a los anteriores MS2.18, presento la menor tasa de producción de CH₄ a las 72 h (0.05 g CH₄ h⁻¹). Diversos autores demostraron que una mayor madurez del forraje aumenta las emisiones de CH₄ por unidad de materia seca incubada (Pinares-Patiño *et al.*, 2003; Clark *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2012), esto se debe principalmente a la utilización de carbohidratos con elevados niveles de pared celular (forrajes) lo cual produce mayor cantidad de CH₄ por unidad de MS fermentable en el rumen. Las características de la dieta tienen un gran efecto en la producción de gas metano, de ahí que países con pocas limitaciones alimentarias para el ganado, reportan datos de menores emisiones de gas metano y mayor eficiencia energética; por ejemplo, Kinsman *et al.* (1995) mencionó que, en los países en vías de desarrollo, las emisiones son aproximadamente de 55 kg CH₄ año⁻¹ por animal, en contraste a lo reportado en países desarrollados (35 kg CH₄ año⁻¹ por animal).

Efecto del nivel de alimentación simulado con la producción acumulada de metano *in vitro*

La Figura 2 muestra la relación de los diferentes niveles de materia seca con la producción acumulada de metano (CH₄) a las 12 h postincubación, siendo significativa (P<0.01). El modelo de regresión lineal explica el 96% de la variabilidad de los datos, la pendiente indica que por cada gramo de MS incrementado la producción de CH₄ incrementa en 0.31 g de CH₄ y el intercepto indica que cuando X=0 (g MS incubada=0) la línea de regresión intercepta al eje Y en -0.11, es decir el CH₄ se produce en -0.11g kg⁻¹ MS, esto biológicamente no se observa ya que los microorganismos del rumen siguen teniendo actividad aunque no se incuba MS *in vitro* y la metanogénesis sigue ocurriendo.

CONCLUSIÓN

Se registró un efecto lineal de los cuatro niveles de alimentación simulados *in vitro* sobre la producción acumulada de metano a las 12 h

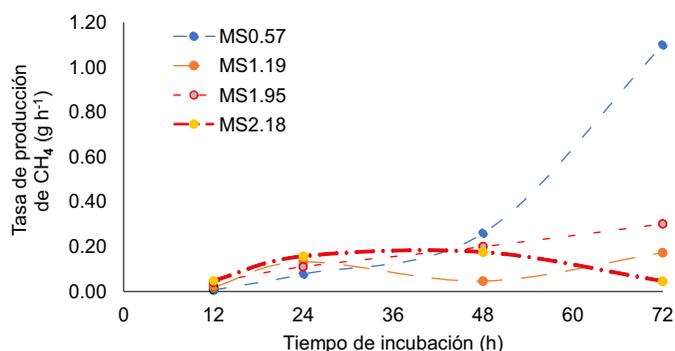


Figura 1. Tasa de producción de metano por hora de los diferentes niveles de Materia Seca. MS0.57: 0.57 g de materia seca incubada *in vitro*, MS1.19: 1.191 g de materia seca incubada *in vitro*, MS1.95: 1.95 g de materia seca incubada *in vitro*, MS2.18: 2.18 g de materia seca incubada *in vitro*.

postincubación. El nivel MS0.57 y MS1.19 presentaron la menor producción de metano a las 24 y 48 h, respectivamente.

LITERATURA CITADA

AOAC. 2012. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC: International, USA. pp: 34-36.

Clark H., Pinares-Patiño C., De Klein C. 2005. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. *In*: McGilloway DA (ed). Grassland: a global resource. Wageningen, The Netherlands: Academic Publishers. P 279-293.

Kinsman R., Sauer F.D., Jackson H.A., Wolynetz M.S. 1995. Methane and carbon dioxide emissions from cows in full lactation monitored over a six-month period. *J Dairy Sci*, 78, 2760-2766

Montenegro J., Abarca S. 2000. Fijación de carbono, emisión de metano y de óxido nitroso en sistemas de producción bovina en Costa Rica. *En*: Intensificación de la ganadería en Centroamérica: beneficios económicos y ambientales. CATIE-FAO – SIDE. Ed Nuestra Tierra. 334 p.

Pinares-Patiño C.S., Baumont R., Martin C. 2003. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Can J Anim Sci*, 83, 769-777.

Shibata M., Terada F. 2010. Factors affecting methane production and mitigation in ruminants. *Journal of Animal Science*, 81, 2-10.

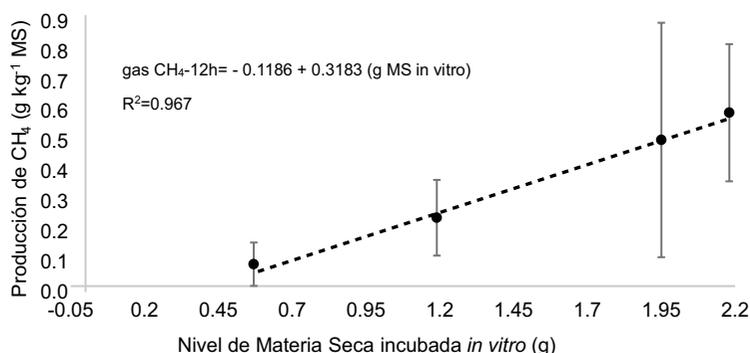


Figura 2. Relación de los diferentes niveles de Materia Seca con la producción acumulada de metano a las 12 h, postincubación. Barras verticales indican la desviación estándar de la media.

- Theodorou M.K., Williams B.A., Dhanoa M.S., McAllan A.B., France J.A. 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. *Anim Feed Sci Technol*, 48, 185-197.
- Vargas J., Cárdenas E., Pabón M., Carulla J. 2012. Emisiones de metano entérico en rumiantes en pastoreo. *Arch Zootec*, 61, 51-66.
- Verge X.P.C., De Kimpe C., Desjardins R.L. 2007. Agricultural production, greenhouse gas emissions and mitigation potential. *Agricultural and Forest Meteorology*, 142, 255-69.



EFFECT OF THE ADDITION OF TWO LEVELS OF (*Ruta chalepensis* L.) ON *in vitro* METHANE GAS PRODUCTION

EFFECTO DE LA ADICION DE DOS NIVELES DE RUDA (*Ruta chalepensis* L.) SOBRE LA PRODUCCION DE GAS METANO *in vitro*

Rayas-Amor, A.A.^{1*}; Méndez-Manzano, E.²; Cisneros-García, I.²; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Miranda de la Lama, G.C.¹;
Díaz-Ramírez, M.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹; García-Garibay, M.¹; Núñez-López, M.³

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Estado de México, C.P. 52005.

²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Licenciatura en Biología Ambiental del Departamento de Ciencias Ambientales. ³ITAM, Departamento de Matemáticas, Río Hondo 1, Ciudad de México 01080, México.

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

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of two levels of rue leaves (*Ruta chalepensis* L.) with different levels of dry matter on the mitigation of methane production (CH₄) and the digestibility of dry matter *in vitro*.

Design/methodology/approach: The treatments evaluated were samples of native grass dominated by Kikuyo grass (*Penisetum clandestinum*) plus the addition of 3 and 6% of rue leaves in relation to a control. The CH₄ was quantified at 12, 24 and 48 h post-incubation.

Results: Significant differences (P<0.01) were found between treatments in all the hours of measurement, with treatments PN0.57 R0%, PN1.19 R3%, PN1.95 R3% and PN2.18 R3% being the ones with lowest production of CH₄ accumulated at 12, 24 and 48 h, respectively.

Study limitations/implications: The results of this study were obtained from an *in vitro* study; therefore, they are not directly applicable to enteric emissions *in vivo*; however, they represent an approximation to how much metabolizable energy can be lost in the form of methane.

Findings/conclusions: The rue leaves showed a mitigation effect of CH₄. In this regard, the treatments PN1.95 R3% and PN2.18 R3% reduced the production rate of CH₄ at 24 and 48 h, by 75% and 95%, in relation to the treatments without rue leaves, and an increase in *in vitro* digestibility of dry matter was observed compared to the treatments without rue leaves.

Keywords: methane, *in vitro*, dry matter level.

RESUMEN

Objetivo: evaluar el efecto de la adición de dos niveles de hojas de ruda (*Ruta chalepensis* L.) con diferentes niveles de materia seca incubada sobre la mitigación de metano (CH₄) y la digestibilidad de la materia seca *in vitro*.

Diseño/metodología/aproximación: Los tratamientos evaluados consistieron en muestras de pasto nativo dominado por pasto kikuyo (*Penisetum clandestinum*) más la adición de 3 y 6% de hoja de ruda respecto a un control. El CH₄ se cuantificó a las 12, 24 y 48 h, post-incubación.

Resultados: se registraron diferencias significativas (P<0.01) entre tratamientos en todas las horas de medición; siendo los tratamientos PN0.57 R0%, PN1.19 R3%, PN1.95 R3% y PN2.18 R3% los que presentaron menor producción acumulada de CH₄ a las 12, 24 y 48 h, respectivamente.

Limitaciones del estudio/implicaciones:

los resultados de este trabajo fueron obtenidos a partir de un estudio *in vitro*; por lo tanto, no son aplicables directamente a las emisiones entéricas *in vivo*, no obstante, se tiene una aproximación de cuanto energía metabolizable se puede perder en forma de metano.

Hallazgos/conclusiones: las hojas de ruda presentaron mayor efecto de mitigación de CH₄. En este tenor, los tratamientos PN1.95 R3% y PN2.18 R3% redujeron en 75% y 95% la tasa de producción de CH₄ a las 24 y 48 h, con respecto a los tratamientos sin hoja de ruda, y se observó un aumento en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca cuando se compararon los tratamientos con ruda y los tratamientos sin hoja de ésta.

Palabras clave: metano, *in vitro*, nivel de materia seca

INTRODUCCIÓN

Las emisiones de metano (CH₄) significan pérdida de energía en un sistema de producción pecuario ya que parte de la energía ingerida por los rumiantes es perdida en forma de CH₄, en lugar de ser asimilada por el rumiante y utilizarla para producción de leche y carne. La implementación de dietas que contienen metabolitos secundarios que tienen la capacidad de alterar la población microbiana del rumen y los procesos de fermentación ruminal constituye una alternativa para reducir las emisiones de CH₄ entérico (Valencia *et al.*, 2018). Por lo tanto, el desperdicio de cierta porción de la energía en forma de CH₄, no solamente afecta negativamente al ambiente, sino que también afecta la viabilidad económica del sistema. La ruda se ha utilizado en la medicina tradicional ya que tiene propiedades inhibitorias *in vitro* frente a *Erwinia amylovora*, *E. carotovora*, *Pseudomonas syringae* y *Xanthomonas campestris*. Asimismo, reveló propiedades sobre *Culex quinquefasciatus* y repelentes frente a *Popillia japonica*; y efecto inhibitorio sobre los hongos *Epidermophyton floccosum*, *Trichophyton rubrum* y *T. mentagrophytes*; así como bacteriostático contra *Micrococcus pyogenes* var. *aureus* y *Escherichia coli*. El objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de la adición de dos niveles de hojas de ruda (*Ruta chalepensis* L.) con diferentes niveles de materia seca incubada sobre la mitigación de metano y la digestibilidad de la materia seca *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

El muestreo se desarrolló en el invernadero de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM) Unidad Lerma (19° 17' 31.38" N; 99° 30' 06.63" O) a una elevación de 2572 m. Las muestras se secaron en una estufa de aire forzado a 60 °C por 24 h, posteriormente las muestras se molieron con un molino a un tamaño de partícula cercano a los 2 mm (AOAC, 2012). La producción de gas se cuantificó mediante la técnica de producción de gas *in vitro* (Theodorou *et al.*, 1994). El líquido ruminal se colectó de una vaca fistulada, múltipara, raza Holstein con peso promedio de 550 kg y alimentación basada en 100% pradera nativa. La recolección de líquido ruminal se realizó a las 07:00 h, se filtró a través de cuatro capas de tela manta de cielo, y se colocó en un termo calentado previamente a 39 °C, este se transportó rápidamente al laboratorio para la incubación. Se realizaron tres incubaciones por muestra utilizando botellas ámbar de vidrio con capacidad de 120 ml, se incubó aproximadamente 1 g de muestra en cada botella; en cada corrida de incubación se incluyeron cuatro blancos. A cada botella se le adicionaron 90 ml de solución nutritiva (Kansas State) la cual consiste en una solución A (10 g L⁻¹ de KH₂PO₄, 0.5 g L⁻¹ de MgSO₄*7H₂O, 0.5 g L⁻¹ de NaCl, 0.1 g L⁻¹ de CaCl₂*2H₂O, 0.5 g L⁻¹ de urea) y una solución B (9g de Na₂CO₃ y 0.6 g Na₂S*9H₂O diluidos en 60 ml de agua destilada), posteriormente se inoculó con 10 ml de líquido ruminal. La producción de gas metano se cuantificó con un sensor electroquímico acoplado a un analizador portátil (Aeroqual serie 500®) las mediciones se realizaron a las 12, 24 y 48 h post-incubación. La calibración del sensor electroquímico se realizó en fábrica (Aeroqual Limited 109 Valley Road, Mt Eden, Auckland 1024, New Zealand). Se evaluó el efecto de tres especies localizadas comúnmente en el valle de Toluca sobre la mitigación de CH₄ *in vitro*; estas fueron, hoja de ruda (*Ruta chalepensis*), hoja de pino (*Picea abies*) y hoja de higo (*Ficus carica*) ya que tienen propiedades bactericidas o bacteriostáticas. Los datos de producción de metano *in vitro* a las 12, 24 y 48 h, se evaluaron mediante un diseño de bloques completos al azar; donde los tratamientos estuvieron compuestos por el pasto nativo dominado por *Penisetum clandestinum* (80%) y malezas (20%); se le adicionó 3% y 6% de hojas de ruda (Cuadro 1). Adicionalmente se incluyó la pradera nativa como control.

La producción de CH₄ *in vitro* se analizó mediante un diseño de bloques completos al azar. El modelo general lineal fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + e_{ij}$$

donde, Y_{ij} =variable respuesta (CH_4 *in vitro*), μ =media general, α_i =efecto debido al i -ésimo tratamiento, β_j =efecto debido al j -ésimo bloque, e_{ijk} =error experimental del i -ésimo tratamiento en el j -ésimo bloque.

La y la digestibilidad *in vitro* de la materia seca (DIVMS) a las 48 horas se evaluó mediante un diseño completamente aleatorio. El modelo general lineal fue:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + e_i$$

donde, Y_i =variable respuesta (CH_4 *in vitro*), μ =media general, α_i =efecto debido al i -ésimo tratamiento, e_i =error experimental del i -ésimo tratamiento.

Cuando se observaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los tratamientos se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey. El análisis estadístico se realizó con el software MINITAB v14.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 2 muestra los promedios de la concentración acumulada de CH_4 y la DIVMS cuando el pasto nativo se

incubó con dos niveles de hoja de ruda. Se registraron diferencias significativas ($P < 0.01$) entre tratamientos en todas las horas de medición; siendo los tratamientos PN0.57 R0%, PN1.19 R3%, PN1.95 R3% y PN2.18 R3% los que presentaron menor producción acumulada de CH_4 a las 12, 24 y 48 h, respectivamente. Los tratamientos PN1.95 R3%, PN1.95 R6%, PN2.18 R3%, PN2.18 R6% no presentaron diferencias significativas ($P > 0.05$) a las 24 y 48 h.

Cuadro 1. Tratamientos y bloques que componen el diseño estadístico de bloques completos al azar.

Tratamientos	Acrónimo	Bloque (h)
0.57 g de MS sin hoja de ruda	PN0.57 R0%	12
0.57 g de MS más 3% hoja de ruda	PN0.57 R3%	24
0.57 g de MS más 6% hoja de ruda	PN0.57 R6%	48
1.19 g de MS sin hoja de ruda	PN1.19 R0%	
1.19 g de MS más 3% hoja de ruda	PN1.19 R3%	
1.19 g de MS más 6% hoja de ruda	PN1.19 R6%	
1.95 g de MS sin hoja de ruda	PN1.95 R0%	
1.95 g de MS más 3% hoja de ruda	PN1.95 R3%	
1.95 g de MS más 6% hoja de ruda	PN1.95 R6%	
2.18 g de MS sin hoja de ruda	PN2.18 R0%	
2.18 g de MS más 3% hoja de ruda	PN2.18 R3%	
2.18 g de MS más 6% hoja de ruda	PN2.18 R6%	

Los niveles en los tratamientos se adicionaron en base seca con respecto al peso del tratamiento. PN=pasto nativo compuesto por pasto nativo y malezas

Cuadro 2. Efecto de la adición de hojas de ruda, higo y pino sobre la concentración acumulada promedio de metano (CH_4) y la digestibilidad de la materia seca *in vitro* (DIVMS)

Tratamientos	Concentración de CH_4 (g kg^{-1} MS)			DIVMS (g kg^{-1} MS)
	12 h	24 h	48 h	48 h
PN0.57 R0%	0.013 ^{aA} ±0.01	1.0 ^{bB} ±0.7	7.5 ^{aC} ±0.6	558 ^a ±45
PN0.57 R3%	0.025 ^{aA} ±0.01	2.7 ^{aB} ±0.2	21.7 ^{bC} ±0.2	591 ^a ±47
PN0.57 R6%	0.084 ^{aA} ±0.02	1.9 ^{aB} ±0.5	24.4 ^{bC} ±0.6	549 ^a ±13
PN1.19 R0%	0.101 ^{aA} ±0.08	1.8 ^{aB} ±0.1	3.9 ^{aC} ±0.3	496 ^c ±40
PN1.19 R3%	0.051 ^{aA} ±0.04	1.4 ^{aB} ±0.1	2.8 ^{aC} ±0.2	541 ^a ±43
PN1.19 R6%	0.140 ^{bA} ±0.09	1.8 ^{aB} ±0.4	5.7 ^{aC} ±0.1	530 ^a ±30
PN1.95 R0%	0.174 ^{bA} ±0.14	2.4 ^{aB} ±0.2	11.2 ^{aC} ±0.9	439 ^c ±35
PN1.95 R3%	0.166 ^{bA} ±0.13	0.7 ^{bB} ±0.5	0.9 ^{bB} ±0.07	612 ^b ±49
PN1.95 R6%	0.184 ^{bA} ±0.02	1.3 ^{aB} ±0.3	1.4 ^{aB} ±0.03	640 ^b ±50
PN2.18 R0%	0.255 ^{bA} ±0.20	4.8 ^{cB} ±0.4	12.6 ^{aC} ±0.1	498 ^c ±40
PN2.18 R3%	0.205 ^{bA} ±0.16	1.0 ^{bB} ±0.7	1.4 ^{aB} ±0.1	603 ^b ±48
PN2.18 R6%	0.308 ^{cA} ±0.07	2.0 ^{aB} ±0.5	2.3 ^{aB} ±0.05	627 ^b ±52
EEM	0.2	0.3	2.5	17
Tratamientos	0.001	0.001	0.001	0.01
Bloques	0.011	0.001	0.001	

Tratamientos como se indica en el Cuadro 1. Superíndices en minúsculas refieren a diferencias entre filas y superíndices en mayúsculas refieren a diferencias entre columnas. EEM: error estándar de la media.

La DIVMS presento diferencias significativas entre tratamientos a las 48 h, post-incubación. En general los tratamientos PN0.57 R0%, PN1.19 R0%, PN1.95 R0% y PN2.18 R0% presentaron menor DIVMS que los tratamientos que se les adicionó el 3 y el 6% de hoja de ruda siendo el tratamiento PN1.95 R6% el que presento mayor DIVMS seguido de PN2.18 R6%. Los tratamientos PN0.5 R3% y PN1.19 R3% presentaron mayor digestibilidad con respecto a los tratamientos PN0.5 R0%, PN0.5 R6% y PN1.19 R0%, PN1.19 R6%, respectivamente.

La Figura 1 muestra la tasa de producción de CH₄ por hora con los diferentes niveles de MS. Los tratamientos PN1.95 R3% y PN2.18 R3% redujeron en 75% y 95% la tasa de producción de CH₄ a las 24 y 48 h, con respecto a PN1.95 R0% y PN2.18 R0%, respectivamente y PN1.19 R3% redujo la tasa de producción de CH₄ hasta 33% con respecto a PN1.19 R0% a las 24 h de postincubación. Cuando se incubó 0.57 g MS no se observó efecto de disminución de la tasa de producción de CH₄ ya que el tratamiento PN0.57 R0% mostro la menor tasa de producción de CH₄ hasta las 48 h con respecto a los tratamientos PN0.57 R3% y PN0.57 R6%. Estos resultados sugieren que cuando se incuba ruda al 3% con mayor cantidad de MS (1.95 g y 2.18 g) el efecto de mitigación en la tasa de producción de CH₄ es mayor que cuando se incuba a 0.57 g MS.

De acuerdo a la literatura, el presente, es el primer estudio en donde se reporta el efecto de las hojas de ruda sobre la mitigación de CH₄ *in vitro* y la DIVMS. Existen muchas especies de plantas que han sido probadas *in vitro* contra diversas cepas bacterianas, y se ha demostrado que existe un buen número de extractos de plantas y compuestos puros activos contra bacterias gram-positivas y gram-negativas; por ejemplo, en las hojas de ruda se han identificado compuestos tales como cumarinas, flavonoides, esteroides, esteroides, aldahidos, monoterprenos, sesquiterpenos, compuestos fenólicos, proantocianidinas (taninos condensados) y flavonoides acetilados, alcaloides de piperidina 2,6-disustituidos (Virjamo y Julkunen, 2018). Esta mitigación de CH₄ puede explicarse por dos mecanismos de acción; el primero atribuido a que el uso de compuestos, tales como saponinas, taninos condensados y aceites esenciales reducen la síntesis de CH₄ en el rumen; y el segundo, a la acción conjunta de estos compuestos, que puede ser bacteriostática en lugar de bactericida; ya que pudieron haber inhibido el crecimiento logarítmico del organismo bacteriano que produce el CH₄ entre las 24 y 48 h postincubacion (Vera-Ku *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Las hojas de ruda presentaron mayor efecto de mitigación de

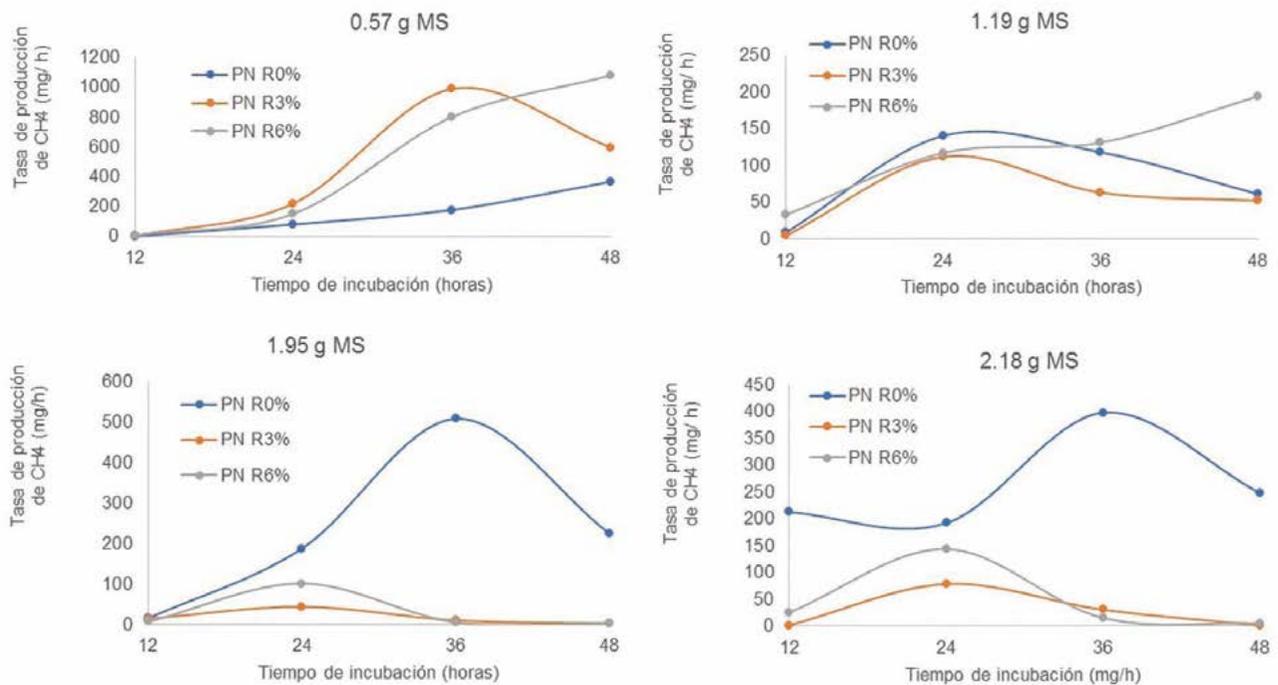


Figura 1. Efecto de la adición de ruda (*Ruta chalepensis* L.), sobre la tasa de producción de CH₄ *in vitro* por hora empleando pradera nativa dominado por *Penisetum clandestinum* (80%) y malezas (20%) como sustrato. PN R0%: pradera nativa sin hoja de ruda, PN R3%: pradera nativa + ruda 3%, PN R6%: pradera nativa + ruda 6%.

CH₄ dependiendo del nivel de materia seca incubada. En este sentido, ambos tratamientos PN1.95 R3% y PN2.18 R3% redujeron en 75% y 95% la tasa de producción de CH₄ a las 24 y 48 h, con respecto a los tratamientos sin hoja de ruda. En cuanto a la digestibilidad *in vitro* de la materia seca se observó un aumento de 5.6%, 7.9%, 28% y 17% en los tratamientos PN0.57 R3%, PN1.19 R3%, PN1.95 R3% y PN2.18 R3%; respectivamente, cuando se compararon con los tratamientos sin hoja de ruda.

LITERATURA CITADA

- AOAC. 2012. Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. 19th ed. AOAC: International, USA. pp: 34-36.
- Mavlonov G.T., Ubaidullaeva K.A., Rakhmanov M., Abdurakhmonov I. Y., Abdugarimov A. 2008. Chitin-binding antifungal protein from *Ficus carica* latex. Chemistry of Natural Compounds, 44, 216–219.
- Theodorou M.K., Williams B.A., Dhanoa M.S., McAllan A.B., France J.A. 1994. Simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminants feeds. Anim Feed Sci Technol; 48:185-197.
- Valencia S.S.S., Piñeiro V.A.T., Molina B.I.C., Lazos B.F.J., Uuh N.J.J., Segura C.M.R., Ramírez A.L., Solorio S.F.J., Ku V.J.C. 2018. Potential of Samanea saman pod meal for enteric methane mitigation in crossbred heifers fed low-quality tropical Grass. Agricultural and Forest Meteorology, 258, 108-116.
- Vera-Ku M., Méndez-González M., Moo-Pucc R., Rosado-Vallado M., Simá-Polanco P., Cedillo-Rivera R., Peraza-Sánchez S.R. 2010. Medicinal potions used against infectious bowel diseases in Mayan traditional medicine. Journal of Ethnopharmacology, 132 (1), 303-308.
- Virjamo V., Julkunen-Tiitto R. 2018. Quality and quantity of piperidine alkaloids in needles and bark of Scotspine (*Pinus sylvestris*) seedlings. Phytochemistry Letters, 26, 106-109.



PHYSIOLOGICAL PROCESSES IN THE SYNTHESIS OF YELLOW FAT IN GRAZING BEEF CATTLE

PROCESOS FISIOLÓGICOS EN LA SÍNTESIS DE GRASA AMARILLA DE BOVINOS EN PASTOREO

Vera-Vázquez, F.J.¹; Cruz-Monterrosa, R.G.^{1*}; Jiménez-Guzmán, J.¹; Rayas-Amor, A.A.¹; Díaz-Ramírez, M.¹; Ramírez-Lubianos, C.¹; García-Garibay, J.M.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México.

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

ABSTRACT

Objective: To review the physiological processes in the synthesis of yellow fat in grazing beef cattle.

Design/methodology/approach: The present work consisted in conducting a search of scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the keywords: bovine, adipose tissue, β -carotene, adipocytes.

Results: The yellow fat in cattle carcasses is mainly due to the accumulation of β -carotenes contained in forages. This problem is common in cattle fattened under grazing. Low amounts of carotenoids are degraded in the rumen, most reach the intestine, and are transported by lipoproteins to the blood and stored in adipose tissue. The adipocyte presents a series of physiological events with the carotenoids, not well-understood so far; however, the carotenoids are stored inside the adipocyte as triacylglycerols, and they are also stored in the cell membranes, being found in greater quantity in the lipid drop. Carotenoids are found in higher concentration in abdominal adipose tissue.

Study limitations/implications: Yellow fat is caused by the accumulation of carotenoids in adipocytes. β -carotenes are mainly responsible for giving the yellow coloration to the fat, which represents a problem in the commercialization of carcasses.

Findings/conclusions: The amount of β -carotenes that is degraded in the rumen is low, and consequently they are stored in the adipocyte by a series of biochemical processes not well-understood so far.

Keywords: bovines, adipose tissue, β -carotene, adipocytes.

RESUMEN

Objetivo: Realizar una revisión sobre los procesos fisiológicos en la síntesis de grasa amarilla de bovinos en pastoreo.

Diseño/metodología/aproximación: El presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect con las palabras clave: bovinos, tejido adiposo, β -caroteno, adipocitos.



Resultados: La grasa amarilla en las canales de bovinos se debe principalmente a la acumulación de los β -carotenos contenidos en los forrajes. El problema es común con los bovinos finalizados en pastoreo. Bajas cantidades de carotenoides se degradan en el rumen, la mayoría llega a intestino y se transporta por las lipoproteínas a la sangre, almacenándose en el tejido adiposo. El adipocito presenta una serie de eventos fisiológicos con los carotenoides, todavía poco entendibles, no obstante, los carotenoides se almacenan dentro del adipocito como triacilgliceroles, también se almacenan en las membranas celulares, estando en mayor cantidad en la gota de lípidos. Los carotenoides se encuentran en concentración mayor en el tejido adiposo abdominal.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La grasa amarilla es causada por la acumulación de los carotenoides en los adipocitos. Principalmente los β -carotenos son los responsables de dar la coloración amarilla a la grasa; lo cual representa un problema en la comercialización de canales

Hallazgos/conclusiones: La cantidad de β -carotenos que es degradado en rumen es baja, en consecuencia, se almacenan en el adipocito por una serie de procesos bioquímicos todavía no muy bien conocidos.

Palabras clave: bovinos, tejido adiposo, β -caroteno, adipocitos

los grasos son cubiertos por las sales biliares y las enzimas pancreáticas, las cuales liberan productos de la digestión lipídica. Los ésteres de vitamina A, son hidrolizados y los productos de la digestión interactúan con las sales biliares y el colesterol y forman micelas mixtas, solubilizándose la vitamina A y los carotenos. Las micelas se difunden con la glicoproteína de la membrana celular de la mucosa. Los componentes de la micela penetran individualmente a la fase lipídica de la membrana de las células de la mucosa excepto las sales biliares (Tee, 1992).

Los carotenoides por naturaleza son insolubles en agua y solubles en grasas y membranas biológicas. Estos comparten similitud de transporte con otros lípidos, y en la luz del tracto digestivo se forman estructuras que permiten que los lípidos sean solubles, siendo principalmente micelas y vesículas (Dunne *et al.*, 2009). Posteriormente, los carotenoides se transportan en la sangre a través de lipoproteínas de alta densidad (HDL, por sus siglas en inglés) y se almacenan en las membranas y en las gotas de lípidos en las células. La proporción de carotenoides que está disponible para uso o almacenamiento oscila entre el 3.5 y 90% para el β -caroteno (Haskell, 2012).

Las especies animales cuentan con una alta eficiencia para convertir el β -caroteno en vitamina A, esto es mediante la enzima 15, 15' monooxigenasa, es específica para algunos isómeros de β -caroteno y también cataliza la ruptura de otros sustratos carotenoides (Mora *et al.*, 2001, Ribaya *et al.*, 1993). La ruptura del β -caroteno origina dos moléculas de retinaldehído, éstas son convertidas a retinol (Parker, 1966), pero no todos los β -carotenos son

INTRODUCCIÓN

La alimentación de los bovinos en pastoreo se basa en forrajes verdes con alto contenido de carotenoides, los cuáles no son totalmente metabolizados en rumen (Mora *et al.*, 2001). En consecuencia, la coloración amarillenta en el tejido adiposo es causada por el exceso de β -carotenos, los cuales limitan la comercialización de la carne (Vilaboa-Arroniz *et al.*, 2009). Esta problemática es más evidente en los mercados de Japón, Australia, Nueva Zelanda y México (Reynoso *et al.*, 2004), estimando pérdidas en México de más de 10 millones de pesos por las carnes pigmentadas (Barrón-Gutiérrez *et al.*, 2004). El tejido adiposo está compuesto por adipocitos, los cuales se encargan de almacenar energía en forma de grasa, por lo que se le conoce como tejido graso, o células de grasa. Existen dos tipos de tejido adiposo, el primero es el tejido adiposo blanco que se caracteriza por tener un número bajo de mitocondrias y el segundo es el tejido adiposo marrón, que contiene un número mayor de mitocondrias. Estos se diferencian por la forma de las células y porque el tejido adiposo marrón tiene la finalidad de generar calor (Moreno *et al.*, 2002). El tejido adiposo blanco está formado por adipocitos que son células que contienen en su citoplasma una enorme gota de grasas (lípidos), el núcleo es aplanado y queda desplazado en la periferia de la célula.

Absorción de β -carotenos

El metabolismo de los carotenoides comienza en el rumen, los alimentos se mezclan con el pH ácido de entre 5.0 y 6.0. Los carotenoides pueden absorberse en el rumen a cantidades bajas (menos del 10%), por lo que pasan casi intactos al intestino delgado (Mora *et al.*, 2001), donde son liberados por acción de enzimas y junto con la vitamina A se disuelven en los glóbulos grasos que pasan a través del lumen del duodeno (Figura 1). En este sitio, los glóbu-

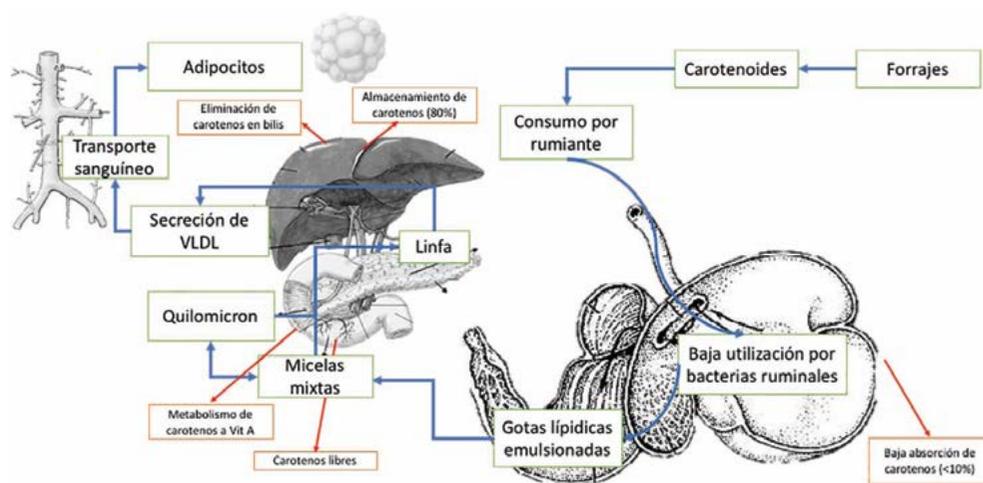


Figura 1. Degradación y absorción de β -carotenos en rumiantes.

convertidos a vitamina A, el resto se transporta a diferentes partes del cuerpo mediante lipoproteínas de alta densidad, las cuales se encargan de transportar a los β -carotenos (Yang *et al.*, 1992). Los carotenoides tienen afinidad por los lípidos, por lo que migran hacia los tejidos grasos, principalmente; glándula mamaria y grasa subcutánea y se distribuyen en el tejido adiposo (Morales *et al.*, 2006).

Absorción de los carotenoides en el tracto gastrointestinal

En el duodeno, las enzimas digestivas participan en la liberación de carotenoides, y se transfieren a la fase lipídica y a las micelas mixtas. No se sabe si los carotenoides están presentes en otras estructuras que solubilizan lípidos en el duodeno, o si esto tiene un efecto sobre su absorción. (Figura 2). Se ha demostrado que la lipasa pancreática puede facilitar la transferencia de carotenoides de las gotas de lípidos emulsionados hacia las micelas mixtas, la transferencia depende del pH, la concentración de ácidos biliares y la hidrofobicidad de los carotenoides, entre otros (Tyssandier *et al.*, 2001). Los carotenoides libres son absorbidos por los enterocitos, la enzima responsable de esta hidrólisis es la lipasa dependiente de sales biliares, también conocida como colesterol-esterasa, carboxil-esterlipasa o esterasa colesterol-éster- hidrolasa (Reboul *et al.*, 2006). El sitio de absorción de los carotenoides está en el duodeno. Los carotenoides pueden metabolizarse en los enterocitos antes de su incorporación al quilomicrón y a la secreción en la circulación sanguínea a través de la linfa (Raghuvanshi *et al.*, 2015), (Figura 2).

Metabolismo de los carotenoides

El β -caroteno se localiza al centro de las micelas, debido a que es una molécula polar (en comparación con las xantofilas) se acumula en la superficie de las micelas (Deming *et al.*, 1999). En los bovinos, una vez que el β -caroteno se sitúa dentro del enterocito, se absorbe entre 5 y 7%, y es convertido a vitamina A, aunque la concentración de carotenoides aumente, el porcentaje que es convertido a vitamina

A se mantiene en bajos niveles, lo cual es debido a la estructura del sitio activo de la enzima β -caroteno 15, 15' monooxigenasa. El resto de los carotenoides junto con los lípidos de la micela pasan a la sangre sin sufrir cambios y se incorporan a los quilomicrones (Minguez *et al.*, 2005). Posterior a la absorción, los β -carotenos alojados en las células de la mucosa intestinal se convierten en retinaldehído y se reducen a retinol. Durante su paso en el epitelio intestinal, cerca de 75% del retinol es esterificado con ácidos grasos de cadena larga. Estos ésteres, comúnmente en forma de palmitato o ácido esteárico, son incorporados junto con otros lípidos y apoproteínas, a los quilomicrones y se transportan a la linfa (Mora *et al.*, 2001). Los β -carotenos pueden metabolizarse con dos enzimas: BCO1 (β -caroteno oxigenasa 1) y BCO2 (β -caroteno oxigenasa 2) (Amengual *et al.*, 2013). La enzima BCO1 rompe la estructura de los carotenoides centralmente y produce al menos una molécula retiniana (2 para el β -caroteno) mientras que la enzima BCO2 rompe la estructura de los carotenoides excéntricamente y produce apocarotenos. La enzima BCO1 cataliza la ruptura oxidativa de los carotenoides provitamina A y β -apocarotenos (Dela Sena *et al.*, 2016). La principal enzima que se encarga de la ruptura del β -caroteno es BCO1 (Von Lintig, 2012).

Transporte en sangre y distribución en tejidos

Los carotenoides siguen el destino de otros lípidos absorbidos (ácidos grasos, monoglicéridos, colesterol), se incorporan con ellos en los quilomicrones en el aparato de Golgi, antes de la secreción en la linfa. La cantidad total y las concentraciones específicas de cada carotenoide en la sangre y en los tejidos están en función del consumo diario de estos pigmentos. En bovinos se

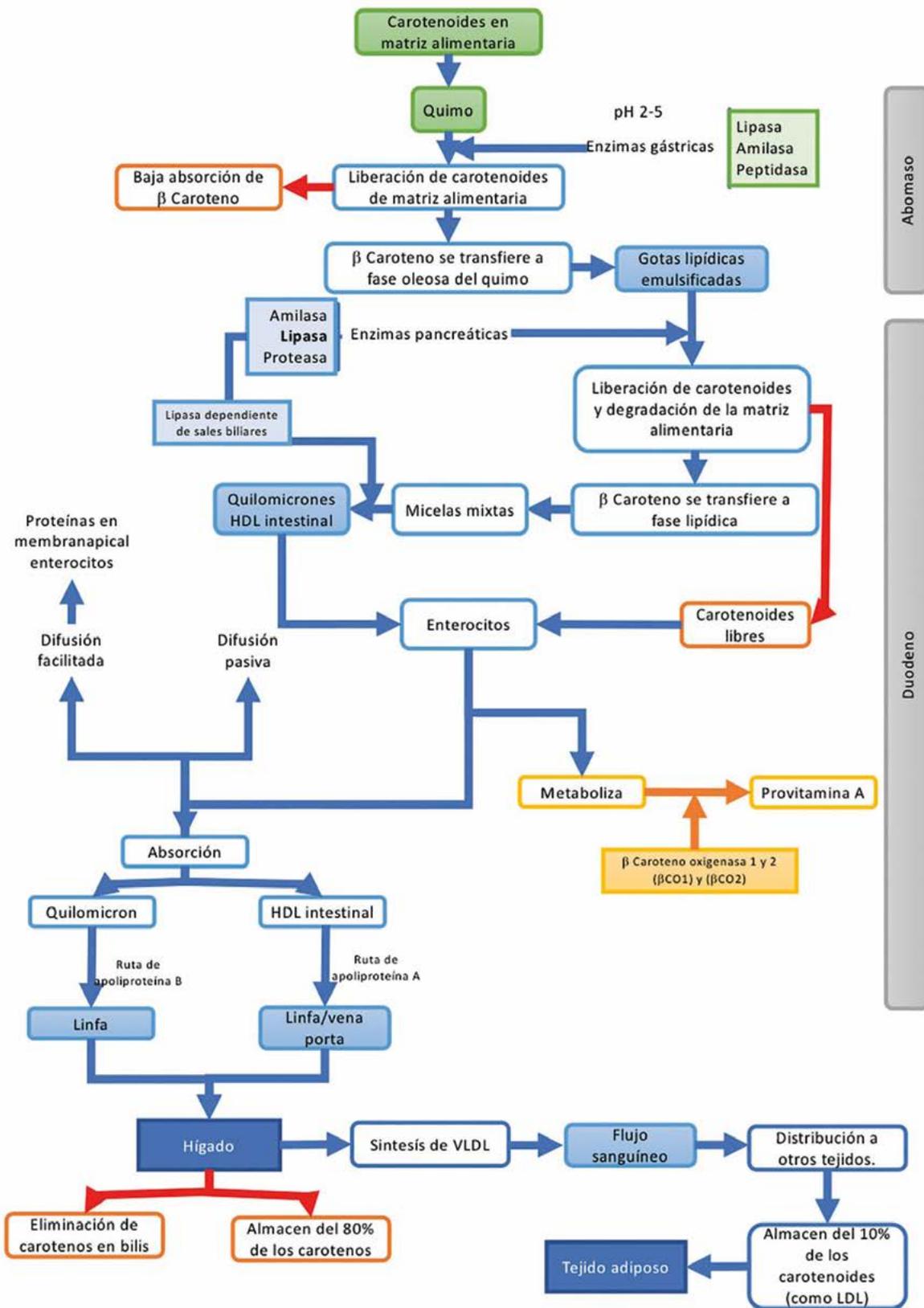


Figura 2. Degradación, absorción y almacenamiento de β-carotenos.

ha observado un aumento lineal ($r^2=0.97$, $P<0.01$) en la concentración plasmática de β -caroteno después de 30 d de suplementación con dicho compuesto. Los carotenoides son transportados en la sangre en asociación con lipoproteínas, principalmente con las de baja densidad (VLDL) en humanos (Pollack et al., 1994). Pero en los bovinos están asociados con lipoproteínas de alta densidad (HDL); debido a que algunos carotenoides se localizan en la superficie de quilomicrones y una fracción de los carotenoides, probablemente se transfiera a otras clases de lipoproteínas (Tyssandier, 2002). Después de dejar la célula intestinal, los ésteres de retinilo transportados en las proteínas de baja densidad del plasma son hidrolizados por esterases de las membranas de las células hepáticas (Tee, 1992). Los carotenoides que llegan al hígado a través de quilomicrones se almacenan en este órgano, se eliminan en la bilis, o se vuelven a secretar en VLDL para su distribución a los tejidos periféricos (Minguez et al., 2005)

Almacenamiento en tejido adiposo

Los carotenoides se encuentran a diferentes concentraciones en los tejidos; específicamente, el tejido adiposo y el hígado contienen entre 80 y 100% de los carotenoides totales en el cuerpo (Dunne et al., 2009). En cuanto al β -caroteno depositado en el tejido adiposo, la literatura reporta de 0.81 a 3.7 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el tejido adiposo subcutáneo y 0.23 $\mu\text{g g}^{-1}$ en el perirrenal. El β -caroteno acumulado en ganado bovino se da en el tejido adiposo (85 - 90%), ocasionando el color amarillo (Yang et al., 1993; Knight et al., 1993). Los carotenoides se almacenan dentro del adipocito como triacilglicérols, también se almacenan en las membranas celulares, estando en mayor cantidad en la gota de lípidos. Los carotenoides se encuentran en concentración mayor en el tejido adiposo abdominal (Gouranton et al., 2008; Chung et al., 2009).

Eventos químicos y fisiológicos de la grasa en el adipocito

El tejido adiposo es un lugar importante para el almacenamiento de retinol, principalmente en los adipocitos, el estroma y células vasculares (Tsutsumi et al., 1999). El retinol circulante unido a la proteína, se sitúa en las células periféricas a través de la acción de receptores de superficie específicos, o por difusión en la membrana plasmática. La absorción eficaz de retinol circulante depende de su unión a la proteína de unión-retinol-celular y la actividad de la enzima retinol-aciltransferasa en retinol circulante es esterificante a los ácidos grasos para

formar ésteres de retinilo, los cuales se incorporan en las gotas de lípidos (Fiedor y Burda, 2014). Los ésteres de retinilo asociada a las lipoproteínas circulantes se pueden hidrolizar a retinol circulante mediante la lipoproteína lipasa y pueden ser absorbidos por las células. Las lipoproteínas circulantes que contienen ésteres de retinilo y carotenoides como β -caroteno se pueden depositar en células enteras mediante endocitosis, moduladas por los receptores de lipoproteínas (Sima et al., 2011).

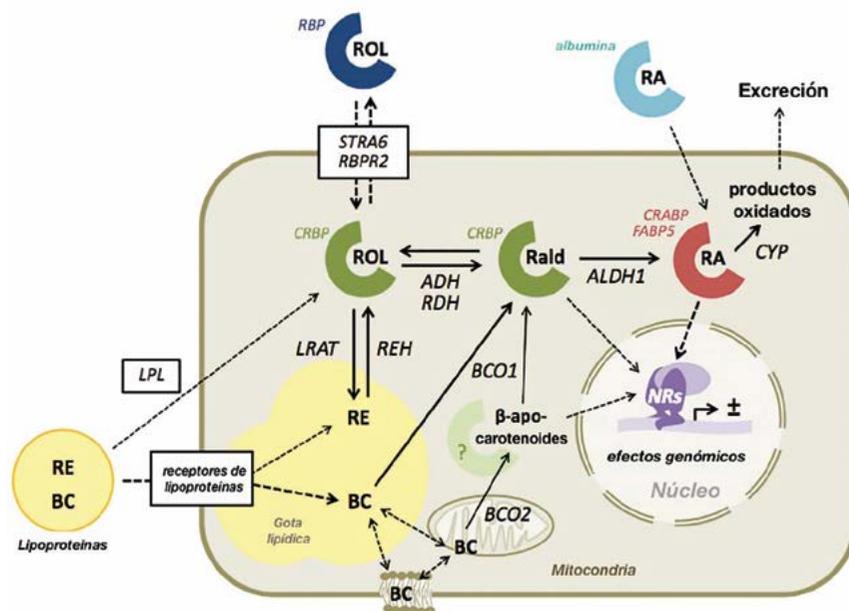
El éster de retinol es hidrolizado por éster-retinol-hidrolasa a retinol-circulante, que puede ser oxidado reversiblemente a retinaldehído, por efecto de las deshidrogenasas de cadena media, capaz de usar retinol como sustrato. El retinaldehído también se puede producir a partir de β -carotenos, a través de la escisión simétrica catalizada por la enzima β -caroteno-15,15'-oxigenasa (BCO1). Los β -carotenos se pueden escindir de forma asimétrica a través de la acción de mitocondrial de la enzima β -caroteno-9', 10'-oxigenasa (BCO2). Algunos productos de la enzima BCO2 se pueden convertir en retinaldehído con la participación de la enzima BCO1. El retinaldehído se oxida de manera irreversible a ácido retinoico por acción de aldehído-deshidrogenasas. El ácido retinoico puede tomarse de la circulación donde se encuentra ligada a la albúmina, se transfiere desde el citoplasma al núcleo en asociación con proteínas de unión a lípidos intracelulares específicos (Figura 3) (Von Lintig, 2012).

El depósito de grasa en el adipocito se da cuando el aporte energético es excesivo, y la moviliza cuando el organismo requiere energía. Para esto, la célula adiposa contiene todas las enzimas de la lipólisis y lipogénesis, capaz de modificar su tamaño y varios cientos de veces su volumen. El metabolismo lipídico en el tejido adiposo es dependiente del requerimiento energético del organismo y está finamente regulado por nutrimentos, señales hormonales y neuronales (Miner, 2004).

La gota lipídica se almacena en el citoplasma del adipocito, sin que se produzca daño. Este depósito no es pasivo, existe un sistema de regulación de la lipogénesis. También la lipólisis (salida de ácidos grasos desde la célula adiposa) es un fenómeno activo y es regulado por diversas señales. La gota lipídica está cubierta de diferentes proteínas que le dan estabilidad y permiten la salida o entrada de ácidos grasos frente a determinadas señales. Dentro de las señales que regulan la lipogénesis está la de la insulina que se encarga de liberar leptina.

Figura 3. Descripción general del retinoide y metabolismo del β -caroteno, tomado de Bonet et al. (2015).

RE: retinol, BC: β -caroteno, LPL: lipoproteína lipasa, LRAT: retinol acil transferasa, REH: éster de retinil hidrolasa, ADH: alcohol deshidrogenasa, RDH: retinol deshidrogenasa, RALD: retinaldehído, (CRBP, RBP): proteínas de unión al retinol, (STRA6, RBPR2): receptores de superficie específicos, RA: ácido retinoico, ALDH1: aldehído deshidrogenasa, (CRABP, FABP5): proteínas de unión a lípidos, CYP: enzimas del citocromo, por sus siglas en ingles.



Otras hormonas que modulan la lipólisis son las catecolaminas y la insulina (Jaworski, et al., 2018). Los adipocitos del tejido adiposo blanco son células grandes de 30 a 70 micras, esféricas y contienen una única gota lipídica que constituye un 65% de la masa celular que confina a las mitocondrias y el núcleo en una fina capa limitada por la membrana plasmática (Vázquez-Vela et al., 2008). Los adipocitos son metabólicamente muy activos y responden rápidamente a estímulos hormonales en coordinación metabólica con el hígado, el músculo esquelético y el corazón. Tienen un metabolismo glucolítico activo, utilizan el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs) para oxidar el piruvato, los ácidos grasos, y realizan la fosforilación oxidativa mitocondrial. Los adipocitos almacenan triacilglicérols, que proceden del hígado transportados en la sangre en forma de VLDL y del tracto intestinal transportados en quilomicrones (Sethi y Vidal-Puig, 2007).

Los ácidos grasos son captados por los adipocitos a través de procesos de transporte activo mediados por proteínas transportadoras específicas de ácidos grasos. Una vez en el interior de la célula, los ácidos grasos son re-esterificados a triacilglicéridos y depositados en el interior de la gran gota de grasa incluida en los adipocitos (Ranganathan, 2006). Cuando aumenta la demanda de energía, los triacilglicérols almacenados en el adipocito son hidrolizados por lipasas en su interior para liberar los ácidos grasos, que pueden ser transferidos, al torrente circulatorio, músculo esquelético y corazón. La liberación de ácidos grasos por los adipocitos se acelera en gran medida por acción de la adrenalina, que estimula

la fosforilación dependiente de AMPc de la perilipina, lo cual permite el acceso de la lipasa sensible a hormonas y triacilglicérols de la gota lipídica de grasa. La insulina contrarresta este efecto de la adrenalina, disminuyendo la actividad de la lipasa (Halliwell et al., 1996).

La Lipasa es sensible a hormonas y está sujeta a una fina regulación que es activada por fosforilación-kinasa- AMPc. La lipólisis es estimulada por todos los agentes que estimulen a la enzima adenilato-ciclasa y aumenten la formación de AMPc, como ocurre con las catecolaminas que activan los receptores beta adrenérgicos (Mauriége et al., 1999). Por otro lado, los carotenoides, provitamina A y el retinol en los adipocitos son utilizados para regular la homeostasis sistémica de la vitamina A, los depósitos de retinol/ésteres de retinilo adiposos, se movilizan fácilmente en condiciones de deficiencia nutricional de vitamina A y pueden cumplir funciones específicas dentro de los adipocitos maduros, debido a que tienen la capacidad para almacenar y oxidar grasas (Wisse, 2004).

CONCLUSIONES

La grasa amarilla es causada por la acumulación de los carotenoides en los adipocitos, principalmente los β -carotenos, que son los responsables de dar la coloración amarilla a la grasa; lo cual representa un problema en la comercialización de canales. La cantidad de β -carotenos que es degradado en rumen es baja, en consecuencia se almacenan en el adipocito por una serie de procesos bioquímicos todavía no muy bien conocidos.

LITERATURA CITADA

- Amengual J., Widjaja-Adhi M. A., Rodriguez-Santiago S., Hessel S., Golczak M., Palczewski K. 2013. Two carotenoid oxygenases contribute to mammalian provitamin A metabolism. *The J. of Biol Chem.*, (288): 34081-34096.
- Barrón G.S., García B.C., Mora I.O., Shimada M.A. 2004. Impacto económico de la pigmentación del tejido adiposo en bovinos en pastoreo en el trópico. *Agroc.* 38, 173.
- Bonet M. L., Canas J. A., Ribot J., Palou A. 2015. Carotenoids and their conversion products in the control of adipocyte function, adiposity and obesity. *Arch. of bioch. and bioph.* (572): 112-125.
- Chung H.Y., Ferreira A.L., Epstein S. Paiva S.A. 2009. Site-specific concentrations of carotenoids in adipose tissue: relations with dietary and serum carotenoid concentrations in healthy adults. *The Ame. J. of Clin. Nutr.* Vol. 90(3):533-539.
- Dela Sena C., Sun J., Narayanasamy S., Riedl K.M., Yuan Y., Curley R.W., Jr., Schwartz S. J., Harrison E.H. 2016. Substrate specificity of purified recombinant chicken beta-carotene 90, 100 -oxygenase (BCO2). *The J. of Biol. Chem.* (291): 1609-1619.
- Deming D.M., Erdman J. W. 1999. Mammalian carotenoid absorption and metabolism. *Pure Appl. Chem.* 71(12):2213.
- Dunne P.G., Monahan F.J., O'Mara F.P., Moloney A.P. 2009. Colour of bovine subcutaneous adipose tissue: a review of contributory factors, associations with carcass and meat quality and its potential utility in authentication of dietary history. *Meat Sci.* (81): 28-45.
- Fiedor J., Burda K. 2014. Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6(2): 466-488.
- Gourant E., Yazidi C.E., Cardinault N., Amiot J.M., Borel P., Francois J. 2008. Purified low density lipoprotein and bovine serum albumin efficiency to internalize lycopene into adipocytes. *Food and chem. Tox.* Vol. 44 (12); 3832-3836.
- Halberg N., Wernstedt-Asterholm I., Scherer P.E. 2008. The adipocyte as an endocrine cell *Endocrinol Metab Clin North Am*, (37):753-768.
- Halliwel K.J., Fielding B.A., Samra J.S., Humphreys S.M., Frayn K.N. 1996. Release of individual fatty acids from human adipose tissue in vivo after an overnight fast. *J. Lipid. Res.* (37): 1842-1848.
- Haskell M.J. 2012. The challenge to reach nutritional adequacy for vitamin a: Beta-carotene bioavailability and conversion-evidence in humans. *The American J. of Clin. Nutr.* (96): 1193-1203.
- Jaworski K., Sarkadi-Nagy E., Duncan R.E., Ahmadian M., Sul H.S. 2007. Regulation of triglyceride metabolism. IV. Hormonal regulation of lipolysis in adipose tissue. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol.* (293): 61-64.
- Knight T., Ridland M., Hill F., Death A., Wyeth T. 1993. Effects of stress and nutritional changes on the ranking of cattle on plasma carotene concentrations. *Proc NZ Soc Anim Prod* (53):455-456.
- Mauriège P., Imbeault P., Langin D., Lacaille M., Almérás N., Tremblay A., Després J.P. 1999. Regional and gender variations in adipose tissue lipolysis in response to weight loss. *J. Lipid. Res.* (40): 1559-1571.
- Miner J.L. 2004. The adipocyte as an endocrine cell. *J. Anim. Sci.* (82): 935-941.
- Minguez M. M. I., Pérez G. A., Hormero M. D. 2005. Pigmentos carotenoides en frutas y vegetales; mucho más que simples "colorantes" naturales. Grupo DE química y bioquímica de pigmentos. Departamento de Biotecnología de Alimentos. Instituto de la Grasa (Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Sevilla, España. <http://www.ig.csic.es>.
- Mora O., Shimada A. 2001. Causas de la deposición de grasa amarilla en canales de bovinos finalizadas en pastoreo. *Vet. Mex.* 32 (1): 63-71.
- Mora O., Romano J.L., González E., Ruiz F.J., Shimada A. 2000. Low cleavage activity of 15,15 -dioxygenase convert beta-carotene to retinol in cattle compared with goats, is associated with the yellow pigmentation of adipose tissue. *Int. J. Vitam. Nutr. Res.* (70):199-205.
- Morales A., Rosas A., González A., Antaramian A., Varela A., Shimada A., Mora O. 2006. Cloning and expression of β -carotene-15,15'-oxygenase in bovine gonadal tissues. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* (76): 9-17.
- Moreno M. J., Martínez J. A. 2002. El tejido adiposo: Órgano de almacenamiento y órgano secretor. *An. Sist. Sanit. Navar.* (25):29-39.
- Parker R.S. 1996. Absorption metabolism and transport of carotenoids. *FASEB J.* (10):542-51.
- Pollack J., Campbell J., Potter S., Erdman J., Mongolian g. 1994. (*Meriones unguiculatus*) absorb b-carotene intact from a test meal. *J Nutr.* (124):869-873.
- Raghuvanshi S., Reed V., Blaner W. S., Harrison E.H. 2015. Cellular localization of beta-carotene 15,15' oxygenase-1 (BCO1) and beta-carotene 9',10' oxygenase2 (BCO2) in rat liver and intestine. *Arch. of Bioch. and Bioph.* (572): 19-27.
- Ranganathan G., Unal R., Pokrovskaya I., Yao-Borengasser A., Phanavanh B., Lecka-Czernik B., Rasouli N., Kern P.A. 2006. The lipogenic enzymes DGAT1, FAS, LPL in adipose tissue: effects of obesity, insulin resistance and TZD treatment. *J. Lipid.* (47): 2444- 2450.
- Reboul E., Berton A., Moussa M., Kreuzer C., Crenon I., Borel P. 2006. Pancreatic lipase and pancreatic lipase-related protein 2, but not pancreatic lipase-related protein 1, hydrolyze retinyl palmitate in physiological conditions. *Bioch. et Bioph. Acta*, (1761): 4-10.
- Reynoso C.R., Mora O., Nieves V., Shimada A., De Mejia E.G. 2004. Beta-carotene and lutein in forage and bovine adipose tissue in two tropical regions of Mexico. *Anim. Feed Sci. Technol.* (113):183- 190.
- Ribaya M.J.D., Lopez M.J., Ordovas J.M., Blanco M.C., Fox J.G., Russell R.M. 1993. Distribution of beta-carotene and vitamin A in lipoproteins fraction of ferret serum. *Ann. N.Y Acad. Sci.* (691):232-236.
- Sethi J.K., Vidal-Puig A.J. 2007. Adipose tissue function and plasticity orchestrate nutritional adaptation. *J. Lipid. Res.* (48): 1253-1262.
- Sima A., Manolescu D. C., Bhat P. 2011. Retinoids and retinoid-metabolic gene expression in mouse adipose tissues. *Biochemistry and Cell Biology*, 89(6), 578-584.
- Tee, E. S. 1992. Carotenoids and retinoids in human nutrition. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* (31): 103-163.
- Tsutsumi C., Okuno M., Tannous L., Piantadosi R., Allan M., Goodman D.S., Blanner W.S. 1992 Retinoids and retinoid-binding protein expression in rat adipocytes. *J Biol Chem* (267):1805-1810.
- Tyssandier V., Cardinault N., Caris-Veyrat C., Amiot M.J., Grolier P., Bouteloup C. 2002. Vegetable-borne lutein, lycopene, and beta-carotene compete for incorporation into chylomicrons,

- with no adverse effect on the medium- term (3-wk) plasma status of carotenoids in humans. *The Ame. J. of Clin. Nutr.* (75): 526-534.
- Tyssandier V., Lyan B., Borel P. 2001. Main factors governing the transfer of carotenoids from emulsion lipid droplets to micelles. *Bioch. et Bioph. Acta*, (1533): 285-292.
- Vázquez-Vela M.E., Torres N., Tovar A.R. 2008. White adipose tissue as endocrine organ and its role in obesity. *Arch. Med. Res.* (39): 715-728.
- von Lintig J. 2012. Provitamin A metabolism and functions in mammalian biology. *Ame. J. of Clin. Nutr.* (96): 1234-1244.
- Vilaboa J., Díaz R.P., Ruiz R.O., Platas D., González S.S., Juárez, F. 2009. Patrones de consumo de carne bovina en la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Revista Agricultura, Sociedad y Desarrollo* 6 (2): 145-159.
- Wisse B.E. 2004. The inflammatory syndrome: the role of adipose tissue cytokines in metabolic disorders linked to obesity. *J. of the Ame. Soc. of neph.* 15(11):2792-2800.
- Yang A., Larsen T.W., Tume R.K. 1992. Carotenoid and retinol concentrations in serum, adipose tissue and liver carotenoid transport in sheep, goats and cattle. *Aust. J. Agric. Res.* (43): 1809-1817.
- Yang A., McLennan S., Armstrong J., Larsen T., Shaw F., Tume K.1993. Effect of short-term grain feeding on bovine body-fat colour: a cautionary note. *Austr J Agric Res* (44):215-220.



RISK OF CONTAMINATION IN STREET FOODS

RIESGOS DE CONTAMINACIÓN EN ALIMENTOS CONSUMIDOS EN LA CALLE

León-Cruz, M.¹; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹; Rayas-Amor, A.A.¹; Díaz-Ramírez, M.¹; Ramírez-Lubianos, C.¹; Miranda-De la Lama, G.¹; García-Garibay, J.M.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México.

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

ABSTRACT

Objective: To research the risks of contamination in food consumed in the street.

Design/methodology/approach: A search was conducted through publications in different scientific and academic databases.

Results: The literature reports that street food trade is common in developing countries. This informal activity in the food sector is the source of employment and income for millions of people in rural and urban areas of the world. However, due to the lack of sanitary inspection by the corresponding authorities, it gives rise to unhygienic practices that generate diseases associated with the consumption of food.

Study limitations/implications: Microbiological contamination is the most important risk to health, while the use of unauthorized chemicals and environmental contamination are also related to food contamination. However, in order to guarantee the safety of foods sold on the street, it is necessary for sellers and consumers to understand the basic principles and measures of food safety, which are established in the official norms and regulations of health organizations.

Findings/Conclusions: Above all, it is recommended to strengthen the implementation of public policies to guarantee the sale of safe foods.

Keywords: Foodborne diseases, street foods, food safety, food hygiene.

RESUMEN

Objetivo: Investigar los riesgos de contaminación en alimentos consumidos en la calle.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una búsqueda a través de publicaciones en diferentes bases de datos científicas y académicas

Resultados: La literatura reporta que el comercio de alimentos en la calle es común en los países en desarrollo. Esta actividad informal del sector alimenticio es la fuente de empleo y de ingresos económicos de millones de personas en las zonas rurales y urbanas. Sin embargo, debido a la falta de inspección sanitaria, da lugar a prácticas antihigiénicas que generan enfermedades asociado al consumo de alimento.



Limitaciones del estudio/implicaciones: La contaminación microbiana es el riesgo más importante para la salud, mientras que el uso de productos químicos no autorizados y la contaminación ambiental también están relacionados con la contaminación de los alimentos. No obstante, para garantizar la inocuidad de los alimentos que se venden en la calle es necesario que los vendedores y consumidores conozcan los principios y medidas básicas de seguridad alimentaria, que se establecen en las normas oficiales y en los reglamentos de los órganos de salud.

Hallazgos/conclusiones: Se recomienda fortalecer la aplicación de políticas públicas para garantizar la venta de alimentos inocuos.

Palabras claves: Enfermedades transmitidas por alimentos, alimentos callejeros, seguridad alimentaria, higiene alimentaria.

y de calidad. En este sentido el propósito del presente trabajo, es dar a conocer los riesgos de contaminación en los alimentos de consumo en la calle.

El comercio de alimentos en la calle

En la actualidad el comercio de alimentos en la calle es un fenómeno popular y urbano, que retoma mayor importancia socioeconómica por contribuir a la economía y generar empleos en las zonas urbanas (Alimi, 2016; Malhotra, 2017). Los alimentos que se venden en la calle, representan una parte significativa del consumo diario de alimento de millones de personas de bajos y medianos ingresos (FAO, 2009). Aproximadamente 2.5 billones de personas consumen alimento en la calle en sus diferentes presentaciones al día (Kraig y Sen, 2013), debido a que son económicos, accesibles y se sirven con mayor rapidez (Fellows y Hilmi, 2011). Los tipos de alimentos que se venden varían de acuerdo a las culturas locales y regionales (INFOSAN, 2010) y su persistencia depende de los hábitos alimenticios, el entorno socioeconómico y las tendencias en el estilo de vida de los consumidores. Además la comida callejera se caracteriza por su peculiar sabor subgeneris y olor (Bhowmick, 2005). Podemos encontrar alimentos crudos listos para comer como ensaladas (verduras y frutas), alimentos precocinados o alimentos cocinados y una gran variedad de bebidas.

A pesar de todas las ventajas descritas en el sector, se sabe que los alimentos callejeros son riesgosos a la salud pública (OMS, 2015). La contaminación microbiana es uno de los peligros más relevantes para la salud, así como el uso de compuestos

INTRODUCCIÓN

La venta de alimentos en la calle es una actividad cotidiana en los países en desarrollo. Estos representan una parte importante del consumo diario por millones de personas de bajos y medianos ingresos (FAO, 2009). Además de proveer comidas relativamente económicas al consumidor, generan empleo informal para la población rural y urbana (Alimi, 2016). Sin embargo, también representan riesgos graves en la salud, debido a las condiciones insalubres en la preparación y conservación de los alimentos.

Las enfermedades transmitidas por los alimentos (ETA), se consideran como uno de los principales problemas mundiales en la salud pública (OMS, 2015). Estas son provocadas por bacterias, virus, parásitos, toxinas y sustancias químicas. La *Salmonella*, *Campylobacter* y *Escherichia coli* enterohemorrágica se encuentran entre los agentes patógenos más comunes causantes de ETA (Bhaskar, 2017); afectan principalmente a la población humana con bajos recursos (Bayona, 2009). Los síntomas más comunes que se presentan son diarreas, vómitos, choque séptico, hepatitis, cefaleas, fiebre y alteración en la visión (González y Rojas, 2005). De acuerdo con lo publicado por la Organización Mundial de la Salud, las ETA afectan aproximadamente a 600 millones de personas anualmente, provocando la muerte de 420 000 personas; de esta cantidad, la tercera parte es en niños menores de cinco años, y la causa evidente son las diarreas (OMS, 2015). La alta incidencia de las enfermedades es un indicador claro de la calidad higiénico-sanitaria de los alimentos. En particular, de aquellos que se venden e ingieren en las vías públicas, y que a menudo no se les hace inspecciones y controles formales de los organismos de salud.

La contaminación de los alimentos se da mediante diferentes mecanismos durante el proceso de preparación y distribución de los mismos. Los principales factores son la falta de higiene, condiciones insalubres del entorno, mala calidad del agua, inadecuadas instalaciones, deficiente manejo de los desechos y desconocimiento de las ETA. Estas condiciones favorecen el crecimiento de los microorganismos patógenos, y por tal razón se deben implementar estrategias de buenas prácticas de higiene por parte de los productores, vendedores y consumidores. Ellos deben garantizar alimentos inocuos

químicos no permitidos, residuos de plaguicidas, transmisión de parásitos y la contaminación ambiental (Al Mamun y Chowdhury *et al.*, 2016) principalmente por metales pesados y los excrementos en polvo de perros y gatos callejeros que se dispersa en el aire. La mayor preocupación es tener una seguridad alimentaria, pero por las necesidades de economía y comodidad con los problemas de saneamiento, congestión de tráfico y accidentes en las ciudades, ocupación ilegal de espacios públicos o privados y problemas sociales (FAO, 1997). Bajo estas perspectivas, los alimentos que se venden en la calle presentan una fuerte tendencia de crecimiento en las zonas urbanas, principalmente en los países en desarrollo, pero a la vez, representan riesgos potenciales para la salud pública.

Riesgos de los alimentos en las calles

A pesar de la buena presentación, olor y sabor de los alimentos en las calles, no se garantiza que sean completamente inocuos y sanos. Esto se debe a muchos factores que influyen en el proceso de recolección, preparación, almacenamiento y distribución de los alimentos. En general, la falta de infraestructuras adecuadas con los servicios básicos, el desconocimiento de las enfermedades transmitidas por los alimentos, la falta de inspección por parte de las autoridades correspondiente y la nula adopción de medidas básicas de inocuidad de los alimentos por parte de los vendedores ponen en riesgo la salud pública (OMS, 1996).

La clasificación de los riesgos se da en tres tipos (Malhotra, 2017), por ejemplo, los **peligros biológicos**, causados por microorganismos,

tales como bacterias, virus o parásitos que están presente en el aire, en los alimentos, en el agua, suelo, animales y humanos. La contaminación puede ocurrir mediante la manipulación inadecuada de los alimentos, la falta de higiene personal y la baja calidad del agua potable. Otros, como los **peligros químicos**, por residuos de productos de limpieza y desinfección, lubricantes, pinturas, revestimientos, fertilizantes, entre otros principales, que pueden ocurrir durante el cultivo, cosecha, almacenamiento, o servicio. En el caso de los metales tóxicos, se encuentran en los revestimientos de recipientes metálicos o de barro, utilizados para cocinar y almacenar los alimentos. Finalmente, los **peligros físicos**, o elementos extraños (metales, vidrio, madera, cabello, uñas, residuos de pesticidas, etcétera) en los alimentos que pueden deberse a la contaminación accidental o a faltas en las prácticas de manejo.

Agentes patógenos microbianos

Entre los peligros biológicos asociados al consumo de alimentos destacan las bacterias *Staphylococcus aureus*, *Clostridium botulium*, *Campylobacter jejuni*, *Bacillus cereus*, *Clostridium perfringens*, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium*, *Vibrio cholerae* y *Escherichia coli*, causantes de intoxicación, toxoinfección e infección (OMS, 2015). Los parásitos *Cryptosporidium parvum*, *Cyclospora cayetanensis*, *Giardia intestinalis* y los virus de la Hepatitis A y *Norovirus*, también son causantes de enfermedades transmitidas por los alimentos (Fernández y Peña, 2012; Kraig y Sen, 2013; OMS, 2015; Gupta, 2017).

La contaminación de los alimentos por microbios es el riesgo principal para la salud humana. Lo anterior, debido a que los alimentos que se venden en la calle son susceptibles a los agentes contaminantes en cualquier eslabón de la cadena; principalmente por prácticas antihigiénicas durante su preparación, manejo y transporte, falta de higiene personal, procesos inadecuados en la preparación de los alimentos, instalaciones inadecuadas y deficiente manejo de residuos y desechos que atraen a insectos (principalmente moscas) y roedores (Fellows y Hilmi, 2011; Kraig y Sen, 2013; Al Mamun y Chowdhury, 2016; Trafialek *et al.*, 2018).

Otro aspecto que favorece la contaminación microbiana es el ambiente insalubre, generalmente los comercios ambulantes de alimentos se encuentran ubicados en lugares libres, expuestos a diversas fuentes de contaminación (aire, agua y suelo) y se enfocan en áreas con alto tráfico humano para exhibir sus productos y mejorar las ventas (Alimi, 2016).

Enfermedades transmitidas por los alimentos

Las Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA) se definen como aquellas afecciones que se transmiten comúnmente a través de la ingestión de alimentos contaminados (OMS, 2007). Los agentes de la enfermedad pueden ser de tipo infeccioso principalmente por bacterias o tóxicos que podrían ser un componente inherente al alimento (biotoxinas) o ser introducido del exterior como los contaminantes químicos (Gupta, 2017). Actualmente se reconocen más de 250 enfermedades transmitidas por alimentos (González y Rojas, 2005; Moreno, 2005). Entre las más frecuentes están la diarreas,

gastroenteritis aguda, disentería y algunos tipos de intoxicación. Además presencia de malestar como vómitos, cefalea, fiebre, trastornos de la visión, choque séptico y otros más (González y Rojas, 2005).

La OMS (2015), señala que a nivel mundial las ETA afectan alrededor de 600 millones de personas anualmente, provocando la muerte de 420 000 personas, y de este total, la tercera parte corresponde a niños menores de cinco años, y es la causa de las enfermedades diarreicas. En México, el Sistema Nacional de Vigilancia Epidemiológica y la Secretaría de Salud han reportado a nivel nacional 4 885 562 casos de diarrea aguda y 25 858 casos de intoxicaciones alimentarias de origen bacteriano (SUIVE, 2016). El mecanismo de transmisión de las enfermedades se da por el consumo de alimento con toxinas, tales como hongos venenosos y pescados. Por transmisión fecal-oral a través de excretas humanas y animales. La infección puede ocurrir a través de las manos al manipular los alimentos o mediante las moscas y contaminación de los alimentos adulterados por productos químicos (Gupta, 2017).

El Cuadro 1 muestra las principales enfermedades infecciosas transmitidas por los alimentos consumidos en las calles, microorganismo y modo de propagación.

Se estima que la *Salmonella* causa 93.8 millones de infecciones humanas y 155 mil muertes por año en el mundo, la cantidad de 80.3 millones de casos fueron transmitidos por alimentos (Majowicz *et al.*, 2010), razón por la cual la *Salmonella* es el agente patógeno más común de intoxicación por alimentos. Los síntomas que se manifiestan incluyen fiebre, dolor de cabeza, dolor abdominal, diarrea y vómitos. Su mecanismo de transmisión es a través del consumo de alimentos crudos de origen animal, por insectos, aves, alimañas y mascotas domésticas (Gupta, 2017).

Prácticas comunes en los comercios de alimentos en la calle

Los comercios de alimentos en la calle se caracterizan por ventas minoritarias en carritos, bicicletas, casetas ubicadas en las esquinas de las calles o puestos que no cuentan con paredes fijas; generalmente ubicados en

Cuadro 1. Enfermedades infecciosas propagadas por los alimentos.

Enfermedad	Organismo	Modo de propagación
Comida contaminada		
Salmonelosis	<i>Salmonella typhimurium</i>	Animales de granja, aves de corral, ratas, ratones
Estafilococos	<i>S. aureus</i>	Portador humano
Enteritis perfringens	<i>Clostridium perfringens</i>	Polvo, heces, moscas
Botulismo	<i>C. botulinum</i>	Polvo, tierra
Gastroenteritis viral	<i>Norovirus, rotavirus</i>	Fecal-oral, de persona a persona, aerosolización
De la leche		
Brucelosis (Fiebre ondulante)	<i>Brucella abortus, Brucella melitensis</i>	Vacas o cabras infectadas
Tuberculosis bovina	<i>Mycobacterium bovis</i>	Vacas o cabras infectadas
De la carne infectada		
Triquinosis	<i>T. spiralis</i>	Cerdo
Tenias	<i>T. saginata, T. solium</i>	Carne de vaca
Cisticercosis	<i>T. solium</i>	Cerdo
Clonorchiasis	<i>Clonorchis sinensis</i>	Pescado del lejano Oriente
Difilobotriasis	<i>Diphyllbothrium latum</i>	Pescado
Balantidiasis	<i>Balantidium coli</i>	Cerdos
Paragonimiasis	<i>Paragonimus westermani</i>	Pescado, cangrejos
De los vegetales		
Fascioliasis	<i>Fasciolopsis buski</i>	Cerdos y rumiantes
De granos y nueces infectados		
Aflatoxicosis	Especies de <i>Aspergillus</i>	Cacahuates
Ergotismo	Especies de <i>Claviceps</i>	sorgo, arroz, centeno

Adaptado de Gupta (2017).

lugares con alto flujo de personas, tales como en los mercados, escuelas, hospitales, fabricas, estaciones camioneras, entre otros. A pesar de la poca infraestructura los comerciantes no toman las medidas necesarias de higiene y sanidad para ofertar un producto sano. Diversos autores han documentado las prácticas más comunes realizadas por los vendedores ambulantes, y que ponen en riesgo la salud de los consumidores. Entre las más frecuentes se encuentran (Bhasker *et al.*, 2004; Thanh, 2015; Alimi, 2016; Al Mamun y Chowdhury, 2016; Trafialek *et al.*, 2018) los siguientes puntos:

- Falta de higiene personal (no usan ropa limpia, no se lavan y secan las manos constantemente, no recogen y cubren el cabello, uso de sustancias toxicas).
- Falta de higiene en las instalaciones y equipos de trabajo (no limpian y desinfectan las instalaciones y equipos, falta de sistemas de eliminación de desechos).
- Falta de protocolos adecuados durante la preparación y el servicio de alimentos (combinación de alimentos crudos y cocidos, uso de los mismos utensilios, desconocen el proceso que debe recibir cada materia prima y sirven alimentos de días anteriores).
- Malas prácticas de manejo y operación de los alimentos (no cuentan con equipos para mantener los alimentos a temperatura adecuada, exponen los productos al aire libre).
- No consideran el saneamiento del ambiente.
- Uso de agua no potable e insuficiente.
- Uso excesivo de productos químicos (aditivos, colorantes, edulcorantes sintéticos, conservadores químicos no autorizados).
- Desconocimiento sobre el estado microbiano de los alimentos.
- Falta de inspecciones y control de sanidad por parte de autoridades.

Normativa Mexicana en la producción y venta de alimentos

Para mantener la salud de la población y garantizar la calidad y seguridad de los alimentos y bebidas, se han expedido el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios (RCSPS) y las Normas Oficiales Mexicanas por parte del Comité Consultivo Nacional de Normalización de Regulación y Fomento Sanitario, que establecen las reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalaciones, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminologías, simbología, embalaje, mercado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación en materia de control y fomento sanitario. La Secretaria de Salud Pública debe ejercer, difundir y hacer cumplir dichos instrumentos mediante la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). En este sentido se describen las principales Normas Oficiales que involucran los procesos de producción, transformación, distribución y transporte de alimentos y materias primas.

NOM-194-SSA1-2004: Establece las especificaciones sanitarias que deben cumplir los establecimientos que se dedican al sacrificio y faenado de animales para abasto, almacenamiento, transporte y expendio de sus productos. Así como las especificaciones sanitarias que deben cumplir los productos

para garantizar la salud del consumidor.

NOM-242-SSA1-2009: Tiene por objeto establecer los requisitos sanitarios para: las áreas de captura de moluscos bivalvos; los establecimientos que procesan productos frescos de la pesca, refrigerados, congelados y procesados, incluyendo las embarcaciones de pesca y recolección, así como las especificaciones sanitarias que deben cumplir dichos productos.

NOM-243-SSA1-2010: Establece las especificaciones sanitarias y nutricionales que debe cumplir la leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y los derivados lácteos.

NOM-251-SSA1-2009: Establece los requisitos mínimos de buenas prácticas de higiene que deben observarse en el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios y sus materias primas a fin de evitar su contaminación a lo largo de su proceso. Estipula las características que deben tener las instalaciones y áreas de trabajo, los equipos y utensilios, los servicios de agua potable y no potable, los sistemas de drenaje, la ventilación e iluminación de las instalaciones, las medidas de almacenamiento de acuerdo al tipo de materia prima, el control de operaciones en función al producto procesado, el control de materias primas y del envasado, el mantenimiento y limpieza de los equipos, el control de plagas y manejo de los residuos, las medidas de transporte y programas de capacitación.

A pesar de la normativa vigente en el país, la mayoría de los comercios de alimentos en la calle las desconocen y no las cumplen; además, las autoridades sanitarias no hacen

cumplir las normas por su desconocimiento, falta de personal para la supervisión y corrupción en los municipios locales, regionales y nacionales.

CONCLUSIÓN

Considerando el crecimiento potencial que tienen los comercios de alimentos en la calle y las ventajas socio-económicas que ofrece en los países en vía de desarrollo, es un gran reto mejorar las condiciones del ambiente en que se desarrollan estas actividades. Sin embargo, se deben considerar los riesgos que representan para la salud. Para ello es necesario que los vendedores y consumidores tomen conciencia de los problemas de inocuidad de los alimentos y adopten mejores prácticas de higiene, saneamiento y manipulación de los alimentos. Así como la intervención conjunta de las autoridades locales y nacionales para mejorar los sistemas de inspección y regulación de los comercios en las calles.

LITERATURA CITADA

- Al Mamun M., Chowdhury T. T. 2016. Safety of Street foods. Chapter 2, Food Hygiene and Toxicology in Ready-to-Eat Foods. Pág. 15-29.
- Alimi B. A. 2016. Risk factors in Street food practices in developing countries: A review. Food Science and Human Wellness, 5: Pág. 141-148.
- Bayona R. M. A. 2009. Evaluación microbiológica de alimentos adquiridos en la vía pública en un sector del norte de Bogotá. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica. 12 (2): 9-17.
- Bhaskar S. V. 2017. Foodborne diseases-disease burden. Chapter 1. Food Safety in the 21st Century. Public Health Perspective. Pág. 1-10.
- Bhasker J., Usman M., Smitha S., Bhat G. K. 2004. Bacteriological profile of street foods in Mangalore. Indian J. Med. Microbial, 22, Pág. 197-1197.
- Bhowmick, S.K. 2005. Street Vendors in Asia: A review. Economic and Political Weekly: 2256-2265.
- Chumber S. K., Kaushik K., Savy S. 2007. Bacteriological analysis of street foods in Pune. Indian J. Public Health, 51 (2):114-116.
- FAO. 1997. Street foods. Food and Agriculture Organization Report, Rome. 1-4.
- FAO. 2009. Good Hygienic Practices in the Preparation and Sale of Street Foods in Africa: Tools for Training. The Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Fellows, P., Hilmi, M. 2011. Selling Street and Snack Foods. Rural Infrastructure and Agro-Industries Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.
- Fernández E. E., Peña C. J. J. 2012. Riesgos microbianos en la producción de alimentos frescos en áreas urbanas y periurbanas de América Latina. Primera Edición.
- González F. T., Rojas H. R.A. 2005. Enfermedades transmitidas por alimentos y PCR: prevención y diagnóstico. Salud pública de México. 47 (5).
- Gupta R. K. 2017. Foodborne infectious diseases. Chapter 2. Food Safety in the 21st Century. Public Health Perspective. Pág. 13- 28.
- INFOSAN. 2010. Basic Steps to Improve Safety of Street-Vended Food (INFOSAN Information Note No. 3/2010—Safety of Street-Vended Food). International Food Safety Authorities Network (INFOSAN), Geneva.
- Kraig, B., Sen, C.T. 2013. Street Food Around the World: An Encyclopedia of Food and Culture. ABC-CLIO, LLC, Santa Barbara, CA.
- Majowicz S. E., Musto J., Scallan E., Angulo F.J., Kirk M., O'Brien S. J., Jones T. F., Fazil A., Hoekstra R.M. 2010. The global burden of nontyphoidal *Salmonella* gastroenteritis. Clin Infect Dis, 50, Pág. 882-889
- Malhotra S. 2017. Food safety issues related to Street vendors. Chapter 31. Food Safety in the 21st Century. Pág. 395-402.
- Moreno DS. M. 2005. Enfermedades transmitidas por los alimentos. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. 52 (2): 95.
- OMS. 1996. Essential Safety Requirements for Street-Vended Foods, revised ed. Food Safety Unit, Division of Food and Nutrition, World Health Organization, Geneva.
- OMS. 2007. WHO Initiative to Estimate the Global Burden of Foodborne Diseases. First formal meeting of the Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group (FERG): Implementing strategy, setting priorities and assigning the tasks. Geneva.
- OMS. 2015. Who estimates of the global burden of foodborne diseases. Foodborne Disease Burden Epidemiology Reference Group 2007-2015. Organization, Geneva.
- SUIVE. 2016. Registro de casos de Enfermedad Diarreica Aguda, México 1984-2015.
- Thanh T.N.C. 2015. Food safety behavior, attitudes and practices of street food vendors and consumers in Vietnam. MSc Thesis. Ghent University
- Trafialek T., Drosinos E.H., Laskowski W., Jakubowska-Gawlik K., Tzmalis P., Leksawasdi D., Surawang S., Kolanowski W. 2018. Street food vendors' hygienic practices in some Asian and EU countries-A survey. Food Control, 85, Pág. 212-222.

TOWARDS THE SUSTAINABILITY OF MAIZE (*Zea mays* L.) CULTIVATION IN ACAMBAY, ESTADO DE MÉXICO

HACIA LA SUSTENTABILIDAD DEL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN ACAMBAY, ESTADO DE MEXICO

Urbano-Castillo, L.¹; Montiel-Castro, A.²; Flores-Hernández, N.³; Martínez-García, C.G.⁴; García-Martínez, A.⁵; Rayas-Amor, A.A.^{6*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Licenciatura en Biología Ambiental de la Lerma de Villada, Estado de México, México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma Departamento de Ciencias de la Salud. ³Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma. Departamento de Ciencias Ambientales. ⁴Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, el Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México. ⁵Universidad Autónoma del Estado de México Centro Universitario Temascaltepec., Estado de México, México. ⁶Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma Departamento de Ciencias de la Alimentación.

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

ABSTRACT

Objective: The agroecological sustainability of maize (*Zea mays* L.) crop land races was evaluated in the municipality of Acambay, Estado de México.

Design/methodology/approach: In the first phase of this pilot study, semi-structured interviews were applied to maize crop producers to assess whether the questionnaire applied is relevant, complete and precise to obtain the information required by the IDEA method to assess sustainability. The participants were selected by means of snowball sampling.

Results: The results showed that on average 1.6 ha, are grown per producer. Regarding the color of maize land races, 80% of producers grow white maize while 20% grow four colors (white, black, pink or red and yellow). The indicators "intercropped crops (A5) and zones of ecological regulation (A8)" have the potential to substantially improve the agroecological sustainability of the maize land races since they obtained 0 in this pilot study.

Study limitations/implications: The questionnaire applied in the interviews was elaborated based on the criteria used in the IDEA method, which evaluates three dimensions (agroecological, socio-territorial and economic); however, in this article only the results of the agroecological dimension are presented.

Findings/conclusions: It is concluded that on average the respondents achieved a sustainability of 9% out of 33% in the component "domestic diversity", 11% out of 33% in the component "organization of space", and 18% out of 34% in the component "agricultural practices". Therefore, the agroecological dimension in this study reached a sustainability of 38%.

Keywords: sustainability, maize land races.

RESUMEN

Objetivo: se evaluó la sustentabilidad agroecológica del cultivo de maíz criollo (*Zea mays* L.) en el municipio de Acambay, Estado de México.

Diseño/metodología/aproximación: en la primera fase de este estudio se realizaron entrevistas semiestructuradas aplicadas a productores con la finalidad de evaluar si el cuestionario aplicado es pertinente, completo y preciso para obtener la información que se requiere en el método IDEA para evaluar la sustentabilidad. Los participantes fueron seleccionados mediante un muestreo tipo bola de nieve.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 103-108.

Recibido: agosto, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.

Resultados: los resultados mostraron que en promedio se cultiva 1.6 ha, por productor encuestado. En cuanto al color del maíz criollo; el 80% de los productores cultivan maíz blanco, mientras que 20% cultiva cuatro colores que son blancos, negros, rosados o rojos y amarillos. Los indicadores "cultivos intercalados (A5) y zonas de regulación ecológica (A8)" tienen potencial para mejorar sustancialmente la sustentabilidad agroecológica del maíz criollo ya que obtuvieron cero (0) en este estudio.

Limitaciones del estudio/implicaciones: el cuestionario aplicado en las entrevistas se elaboró basándose en los criterios utilizados en el método IDEA el cual evalúa tres dimensiones (agroecológica, socio-territorial y económica) no obstante, en este artículo solo se presentan los resultados de la dimensión agroecológica.

Hallazgos/conclusiones: se concluye que en promedio los encuestados alcanzaron una sustentabilidad de 9% de 33% en el componente "diversidad doméstica", el 11% de 33% en el componente "organización del espacio" y 18% de 34% en el componente "prácticas agrícolas" por lo tanto la dimensión agroecológica en este estudio piloto alcanzó un 38% de sustentabilidad.

Palabras clave: sustentabilidad, maíz criollo.

curso suelo-agua, y esto ha generado un desequilibrio que se ve reflejado en una disminución en la producción. Es por ello que al ser una de las principales actividades que se desarrollan dentro del municipio es importante crear herramientas que ayuden a los productores, a determinar los puntos críticos y debilidades de su sistema, de manera que les ayude a mejorar las prácticas de cultivo. En los últimos años el tema de la sustentabilidad ha cobrado gran interés para los investigadores debido a la importancia que ésta representa para la humanidad. El objetivo de este trabajo fue evaluar la sustentabilidad del sistema de maíz con base en variantes criollas de maíz, en Acambay, Estado de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se desarrolló en Acambay, Estado de México (19° 97' 67" N y 99° 88' 49" O), a una altitud 2600 m. El área es bastante irregular ya que tiene cerros, formaciones montañosas muy erectas, profundas barrancas o extensos y suaves valles. Existen diversas metodologías utilizadas para evaluar la sustentabilidad de agroecosistemas, tales como agricultura de riego y sistemas pecuarios citadas en Pérez *et al.* (2005), Albicette *et al.* (2009), Merma *et al.* (2012), Mazabel-Domínguez *et al.* (2010) y Kú *et al.* (2013). Por lo que al ser metodologías que ya se han implementado y que han mostrado ser una herramienta útil para evaluar la sustentabilidad, se aplicaron en este trabajo de investigación.

En la primera fase de este estudio se realizaron entrevistas semiestructuradas aplicadas a una muestra inicial de diez productores con la finalidad de evaluar si el cuestionario aplicado es pertinente, completo y preciso

INTRODUCCION

La relación entre los mexicanos y el maíz (*Zea mays* L.) es ancestral, y este estrecho vínculo está asociado a la evolución de las civilizaciones mesoamericanas y desde su domesticación ha constituido la base de la alimentación de muchas culturas. Debido a sus cualidades alimenticias para la producción de proteína animal, el consumo humano y uso industrial, se ha convertido en uno de los productos más importantes en los mercados internacionales. De acuerdo con el Panorama Agroalimentario (2016) en México, el maíz es uno de los productos que mayormente se consume. En México, durante el 2015, la producción de grano de maíz creció a una tasa anual de 6.1% para totalizar 24.69 millones de t, y en cuanto al tipo de maíz, el que más se produce con 85.9% del volumen es el maíz blanco, seguido de 13.6% de maíz amarillo y 0.5% de otros colores de maíces.

Actualmente la agricultura campesina es una de las principales actividades dentro de las comunidades rurales y abarca a cerca de dos millones de productores que participan en esta actividad, donde el 85% tiene menos de 5 ha. Se estima que se cultivan ocho millones de hectáreas de maíz en todo México, lo que resulta en una producción anual de 18 millones de t, (Paulino-Flores *et al.*, 2017). El Estado de México, es el tercer mayor productor de maíz a nivel nacional. En 2017 la superficie sembrada de este producto fue de 518,000 ha, de las cuales 100,000 ha utilizaron semillas híbridas (SAGARPA, 2017). En el municipio de Acambay se siembran 16,000 ha, de maíz de temporal y 3,000 ha, de riego (comunicación personal), esta última se practica bajo un sistema de agricultura intensiva donde se utilizan insumos agrícolas, tales como herbicidas, insecticidas, pesticidas, maquinaria pesada y riego. En los últimos años la población se ha percatado del deterioro ambiental del re-

para obtener la información que se requiere en el método IDEA (Zahm et al., 2008) para evaluar la sustentabilidad. En la primer fase del estudio, el primer encuestado se seleccionó al azar de entre 2000 productores de maíz del municipio, e inicialmente se le preguntó si quería participar en este estudio piloto, cuando el productor seleccionado al azar contestó afirmativamente se le aplicó el cuestionario, y al finalizar ésta, se le preguntó a que otro productor de maíz criollo se le podría encuestar, posteriormente se visitó al productor sugerido y se le preguntó nuevamente si quería participar en la primer fase del estudio. A este procedimiento se le nombra "muestreo tipo bola de nieve" (Vogt, 2005).

El cuestionario aplicado en las entrevistas se elaboró basándose en los criterios utilizados en el método IDEA (Zahm et al., 2008). Brevemente, el método IDEA está basado en 17 objetivos para formar tres dimensiones de sustentabilidad que son la; agroecológica (ambiental), social y económica. No obstante, en este artículo solo se presentan los resultados de la dimensión agroecológica. La escala agroecológica se divide en tres componentes descritos por 18 indicadores con sus respectivas puntuaciones máximas. El Cuadro 1 muestra como está conformada la dimensión agroecológica en el método IDEA. Posteriormente la información recabada se capturó y procesó en una hoja de cálculo de Excel 2010) y se

representaron con graficas radiales disponibles en Excel 2010.

Interpretación de los indicadores en la dimensión agroecológica

De acuerdo con el método IDEA (Zahm et al., 2008), en el componente de "Diversidad Doméstica" se evaluó la diversidad de cultivos anuales y perennes que indica la protección de la biodiversidad vegetal doméstica, la coherencia técnica y la gestión de la fertilidad del suelo en el largo plazo promoviendo el número de especies y de variedades cultivadas. El indicador diversidad de cultivos perennes constituye un eslabón esencial del agro-ecosistema. La diversidad animal evalúa la producción animal que contribuye a aprovechar y a mantener la fertilidad del medio. En el indicador valoración y conservación del patrimonio genético se subraya el esfuerzo efectuado para aprovechar las razas y las variedades con amenaza de desaparición.

En el componente "Organización del Espacio" se evaluó la rotación de cultivos, este indicador está fuertemente relacionado con el indicador diversidad de los cultivos anuales y temporales. La dimensión de las parcelas explica que si éstas son demasiado pequeñas o demasiado grandes tienen problemas agronómicos y ambientales; es decir, parcelas grandes son susceptibles a la erosión,

Cuadro 1. Dimensión agroecológica de la sustentabilidad.

Componente	Indicadores		Valor máximo	
Diversidad doméstica	A1	Diversidad de cultivos anuales y temporales	14	33 unidades
	A2	Diversidad de cultivos perennes	14	
	A3	Diversidad animal	14	
	A4	Valorización y conservación del patrimonio genético	6	
Organización del espacio	A5	Rotaciones	8	33 unidades
	A6	Tamaño de las parcelas	6	
	A7	Manejo de la materia orgánica	5	
	A8	Zonas de regulación ecológica	12	
	A9	Contribución a los desafíos ambientales del territorio	4	
	A10	Valorización del espacio	5	
	A11	Manejo de las superficies forrajeras	3	
Prácticas agrícolas	A12	Fertilización	8	34 unidades
	A13	Efluentes orgánicos líquidos	3	
	A14	Pesticidas	13	
	A15	Tratamientos veterinarios	3	
	A16	Protección del recurso suelo	5	
	A17	Manejo del agua	4	
	A18	Dependencia energética	10	

en contraste las pequeñas presentan otro tipo de problemas como accesibilidad y eficiencia de los insumos. El indicador manejo de la materia orgánica; es la base de la fertilidad del suelo, permite su mantenimiento sin depender de insumos externos. Zonas de regulación ecológica, en este indicador se miden los linderos forestales, los cercos vivos, estanques, laderas y bosques, franjas con vegetación herbácea, áreas pedregosas y muros viejos de piedras que mantienen el cultivo aislado de otras parcelas. Contribución a los desafíos ambientales del territorio, en este indicador se toma en cuenta el compromiso en relación con los objetivos definidos a favor del patrimonio ambiental local. Carga animal, en este indicador se evalúa la autonomía forrajera, compuesta por cereales y proteínas, es uno de los principales principios de la agricultura sostenible. Por lo tanto, cada ambiente posee un nivel de carga animal óptimo que equilibra las necesidades y los recursos forrajeros. Manejo de las superficies forrajeras, en este indicador se mide la vegetación herbácea como un recurso local muy apreciado que se cultiva y conserva.

En el componente “Prácticas agrícolas”, se evaluó la fertilización en busca de una producción en la que se minimicen los riesgos de contaminación por uso excesivo de fertilizantes inorgánicos y evitar su desperdicio. En el indicador de Efluentes orgánicos líquidos, se evalúa a los agricultores que hacen grandes esfuerzos para el manejo de sus efluentes más allá de los umbrales obligatorios reglamentarios. Para el uso de pesticidas, se evaluó su uso y buscó manejarlos de forma racional. Tratamientos veterinarios, este indicador representa las prácticas inadecuadas en animales de trabajo. Para el caso de protección del recurso suelo, se evaluaron las prácticas sustentables para su conservación, por ejemplo, su labranza mínima y estercolado. En cuanto a manejo del agua, se consideró el costo del uso de agua en el sistema productivo; y finalmente, la dependencia energética, evaluando la dependencia energética de los sistemas agrícolas sostenibles.

RESULTADOS Y DISCUSION

La producción de maíz es el sustento principal para las familias de los productores encuestados, en promedio se cultivan 1.6 ha por productor, el 100% de los productores encuestados respondió ser el dueño del terreno en donde se cultiva el maíz criollo; sin embargo, el 10% mencionó la renta de <1 ha, y otro 10% hasta 2 ha. El 80% de los encuestados respondió que se ha dedicado toda su vida al cultivo de maíz y solo el 20% respondió

no toda la vida; sin embargo, todos respondieron que tienen más de 10 años de experiencia en el cultivo de maíz criollo.

El 80% de los productores cultivan maíz blanco, mientras que el 20% cultiva cuatro colores que son blanco, negro, rojo pálido, rojo y amarillo. El 80% de los encuestados respondió que una parte de la producción obtenida se destina para el autoconsumo, para la alimentación del ganado, para venta y solo 20% de ellos lo destinan a la venta. En los hogares de los productores, existen en promedio cuatro integrantes de la familia, y las actividades que realizan tanto mujeres como hombres en el sistema de producción, son las de siembra, aplicación de fertilizante, abono y cosecha; los niños o niñas no tienen ninguna actividad específica en el cultivo de maíz; adicional a la familia se contrata a cuatro jornales en promedio para apoyar las labores de deshierbe y cosecha.

Diversidad doméstica del cultivo de maíz criollo en la dimensión agroecológica

La Figura 1 muestra el componente “Diversidad Domestica” que describe en 33% la dimensión agroecológica en la Metodología IDEA. Se observó que en promedio, los productores encuestados en el indicador “diversidad de cultivos anuales y temporales (A1)” fueron valorados con dos puntos de 14, lo cual indica que no tienen diversidad en variedades de maíz, aunque el 20% de los productores cultivan cuatro colores de maíz siguen siendo criollos y no mencionaron la incorporación de variedades mejoradas o híbridos comerciales que les pueden dar mayor resistencia contra plagas, o acame,

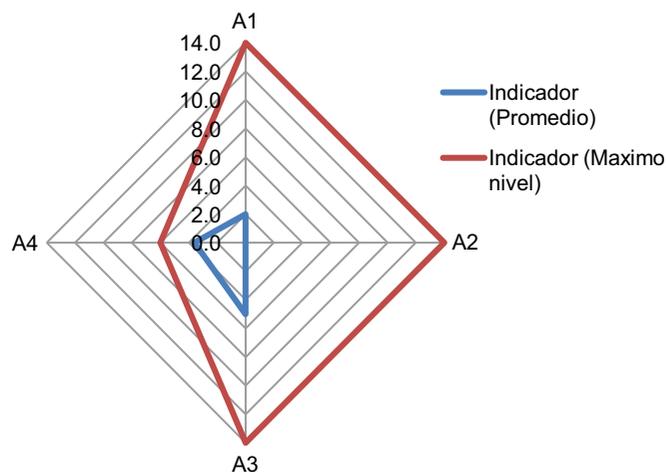


Figura 1. Componente “Diversidad Domestica” que describe la dimensión agroecológica en la Metodología IDEA. A1: Diversidad de cultivos anuales y temporales, A2: Diversidad de cultivos perennes, A3: Diversidad animal, A4: Valorización y conservación del patrimonio genético.

esto resultados concuerdan con lo reportado por Magdaleno-Hernández et al. (2016) ya que dentro de las comunidades del municipio se cultiva una sola especie de maíz y la asociación con otras variedades se da pero en terrenos más pequeños y existe un alto consumo de fertilizantes químicos. En el indicador de "diversidad de cultivos perennes (A2)" se muestra 0 en la puntuación ya que la encuesta fue enfocada estrictamente al cultivo de maíz y no se enfocó a otros dentro de la unidad de producción; no obstante, ninguno de los productores encuestados mencionó asociar al cultivo de maíz criollo con cultivos como la veza (*Vicia sativa* L.) que es una planta herbácea (Fabaceae) que se puede ocupar como planta fijadora de nitrógeno durante el crecimiento del cultivo de maíz, como abono verde para la siguiente cosecha o cortarla junto con el rastrojo de maíz para la alimentación animal. En el indicador "Diversidad animal (A3)" en promedio los encuestados obtuvieron cinco puntos de 14, lo cual indica que tienen mulas y reses de tiro para las actividades de preparación del terreno, siembra y aporque. En el indicador "valorización y conservación del patrimonio genético (A4)", en promedio obtuvieron dos puntos de seis, indicando que la diversidad genética de los maíces criollos en la zona de estudio está en riesgo.

Organización del espacio del cultivo de maíz criollo en la dimensión agroecológica

La Figura 2 muestra el componente "organización del espacio" que describe en 33% la dimensión agroecológica en la Metodología IDEA. En este componente se observó que en promedio en el indicador "cultivos intercalados (A5)" obtuvo 0 puntos de 12, este indicador tiene potencial para mejorar sustancialmente la sustentabilidad agroecológica del maíz criollo. En método IDEA el indicador "dimensión de las parcelas (A6)" se menciona que cualquier "unidad espacial del mismo cultivo" de di-

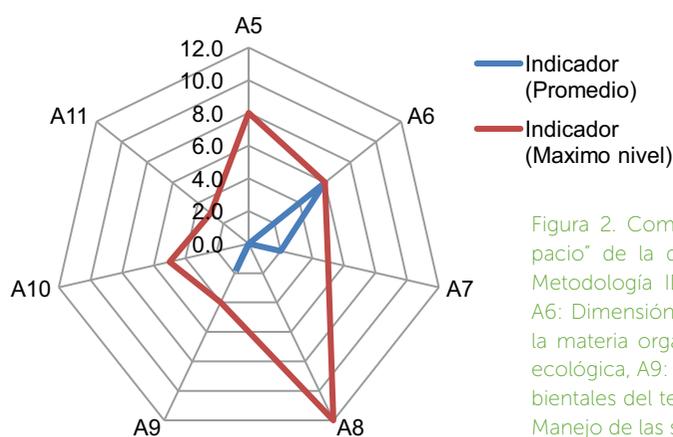


Figura 2. Componente "Organización del Espacio" de la dimensión agroecológica en la Metodología IDEA. A5: Cultivos intercalados, A6: Dimensión de las parcelas, A7: Manejo de la materia orgánica, A8: Zonas de regulación ecológica, A9: Contribución a los desafíos ambientales del territorio, A10: Carga animal, A11: Manejo de las superficies forrajeras.

mensión igual a 6 ha, la puntuación máxima es seis, y si es superior a esta superficie cultivada, el puntaje asignado va disminuyendo; sin embargo, no se menciona un puntaje específico para una superficie menor a seis ha, por lo tanto, en este indicador se le asignó el puntaje de seis, ya que se observó que en promedio se cultivan 1.6 hectáreas por productor. No obstante, se menciona que las parcelas demasiado pequeñas menor a seis, normalmente presentan ineficiencia en el uso de insumos externos, tales como fertilizantes, herbicidas, plaguicidas mano de obra contratada, entre otros. El indicador "Manejo de la materia orgánica (A7)" obtuvo dos puntos de 5, ya que solo se observó el uso de estiércol para incorporar materia orgánica al suelo; no obstante, la incorporación de desechos o abonos verdes, compost o ramas trituradas a parte del estiércol no se observó en ninguno de los encuestados. El indicador "zonas de regulación ecológica (A8)" tuvo 0 puntos de 12 debido a que ninguno de los encuestados mencionó tener zonas de regulación ecológica, vegetación a lo largo de las riberas de las corrientes de agua, terrazas, o la existencia de un mapa donde se encuentren localizados los principales objetivos ambientales presentes en la unidad de producción. En el indicador "contribución a los desafíos ambientales del territorio (A9)" se obtuvo dos puntos de cuatro, ya que en promedio se observó que los productores mostraron interés de conservar en menos del 50% de la unidad de producción las especies silvestres y de los ambientes que constituyen en sus hábitats (biodiversidad). En el indicador "Carga animal (A10) y Manejo de las superficies forrajeras (A11)", no aplicó, ya que no se evaluó el cultivo de maíz para alimentación animal en pastoreo.

Prácticas Agrícolas del cultivo de maíz criollo en la dimensión agroecológica

En la Figura 3 se muestra el componente "prácticas agrícolas" que describe en 34% la dimensión agroecológica. En este componente se observó que en promedio el indicador "Fertilización (A12)" obtuvo tres puntos de ocho, ya que en promedio los productores aplican entre 60 y 80 kg de nitrógeno por hectárea. En el indicador "efluentes orgánicos líquidos (A13)" se obtuvieron 0 puntos de tres, ya que no se observó ningún tratamiento de los efluentes líquidos (ejemplo tratamiento individual biológico aeróbico de los efluentes con aplicación aprobada en tierras de la

individuos orgánicos líquidos (A13) se obtuvieron 0 puntos de tres, ya que no se observó ningún tratamiento de los efluentes líquidos (ejemplo tratamiento individual biológico aeróbico de los efluentes con aplicación aprobada en tierras de la

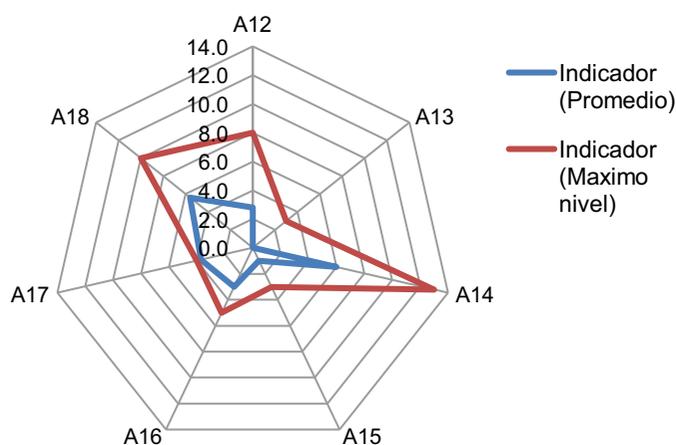


Figura 3. Componente “Prácticas Agrícolas” de la Metodología IDEA. A12: Fertilización, A13: Efluentes orgánicos líquidos, A14: Pesticidas, A15: Tratamientos veterinarios, A16: Protección del recurso suelo, A17: Manejo del agua, A18: Dependencia energética.

explotación, o construcción de lagunas y compostaje) derivados de los establos donde tienen a los animales de tiro. En el indicador “pesticidas (A14)” se registraron seis puntos de 13, debido a que en promedio se utilizan 1 L de herbicida o insecticida químico por hectárea, ninguno mencionó el empleo de control biológico en al menos 10% de la superficie tratada. En el indicador “tratamientos veterinarios (A15)” se obtuvo uno de tres puntos, ya que se observó la aplicación de desparasitantes y vitamínicos inorgánicos (no con esencias herbolarias) a los animales de tiro. En el indicador de “protección del recurso suelo (A16)” se obtuvieron tres puntos de cinco, ya que más del 80% de la superficie de cultivo se prepara con labranza mínima, pero no se mencionaron prácticas de acondicionamiento del suelo y prácticas anti-erosivas, tales como terrazas, tapias bajas, franjas con cobertura herbácea, labores en curvas a nivel. El indicador “manejo del agua (A17)” obtuvo una puntuación máxima de cuatro, ya que el cultivo de maíz criollo se realiza en condiciones de temporal. En el indicador “Dependencia energética (A18)” se obtuvieron cuatro de 10 puntos, debido a que los productores mencionaron emplear maquinaria agrícola en ciertas ocasiones del ciclo productivo lo cual representa un consumo de 300 L ha⁻¹.

CONCLUSIONES

El estudio inicial, registró una sustentabilidad de 9% de 33% en el componente “diversidad doméstica”, 11% de 33% en el componente “organización del espacio” y 18% de 34% en el componente “prácticas agrícolas” por lo tanto la dimensión agroecológica alcanzó un 38% de sustentabilidad.

LITERATURA CITADA

Albicette M., Brascesco R., Chiappe M. 2009. Propuesta de indicadores para evaluar la sustentabilidad predial en agroecosistemas agrícola-ganaderos del litoral del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 13(1), 48-68.

Comunicación Personal. CADER 08 Acambay. Noviembre 2017.

Kú V. M., Pool L., Mendoza J., Aguirre E. 2013. Propuesta metodológica para evaluar proyectos productivos con criterios locales de sustentabilidad en Calakmul, México. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 17(1).

Magdaleno-Hernández E., Mejía-Contreras A., Martínez-Saldaña T., Jiménez-Velazquez M. A., Sanchez-Escudero J., García-Cué J.L. 2016. Selección tradicional de semilla de maíz criollo. *Agricultura, sociedad y desarrollo*, 13(3), 437-447.

Mazabel-Domínguez D.G., Romero-Jacuinde M., Hurtado-Cardoso M. 2010. La evaluación social de la sustentabilidad en la agricultura de riego. *Ra Ximhai*, 6(2), 199-219.

Merma I., Julca A. 2012. Caracterización y evaluación de la sustentabilidad de fincas en Alto Urubamba, Cusco, Perú. *Ecología Aplicada*, 11(1), 1-11.

Panorama Agroalimentario (2016). Maíz. Dirección de Investigación y Evaluación Económica y Sectorial. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200637/Panorama_Agroalimentario_Ma_z_2016.pdf

Paulino-Flores M., Martínez-Campos A. R., Martínez-Castañeda F. E., López-Orona C. A., Vizcarra-Bordi I., Munguía N. 2017. Evaluation of the sustainability of hybrid and native maize production systems. *Journal of Cleaner Production*, 150, 287-293.

Pérez B., González C., García L. 2005. Evaluación de la sustentabilidad de dos agroecosistemas campesinos de producción de maíz y leche, utilizando indicadores. *Livestock Res. Rural Dev*, 17(7).

SAGARPA. 2017. Producción de Maíz grano por Entidad Federativa. Boletín Mensual. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/264775/Boletin_mensual_ma_z_grano_sep_2017.pdf

Vogt W.P. 2005. Dictionary of statistics and methodology: a non-technical guide for the social sciences. 3rd ed. United States of America: Sage publications.

Zahm F., Viaux P., Vilain L., Girardin P., Mouchet C. 2008. Assessing farm sustainability with the IDEA method—from the concept of agriculture sustainability to case studies on farms. *Sustainable development*, 16(4), 271-281. 3rd ed.



MILK AND OBESITY: ANALYSIS OF THE EFFECTS OF DIFFERENT MILK COMPONENTS ON METABOLIC HEALTH AND OBESITY

LECHE Y OBESIDAD: ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DE LOS DIFERENTES COMPONENTES DE LA LECHE EN LA SALUD METABÓLICA Y LA OBESIDAD

Rayas-Amor, A.A.¹; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Díaz-Ramírez, M.1; Miranda de la Lama G.C.¹; García-Garibay, M.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Estado de México, C.P. 52005.

*Autor de correspondencia: jjjimenez@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: To examine how milk consumption could favor overweight and obesity when consumed with flavorings; the effect of consuming milk without flavoring on metabolic diseases was also examined.

Design/methodology/approach: The present study consisted in conducting a search of scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the keywords: milk, obesity, fatty acids, peptides.

Results: from fatty acids in milk, linoleic acid has an effect on the composition of body fat and from it, the t10, c12 isomer has been identified as responsible for the decrease in body fat, and the mechanisms by which the t10, c12 isomer affects body fat include reduction of lipid accumulation by adipocytes.

Study limitations/implications: In studies previously conducted, the highest dose provided in a human trial was 6.8 g/day (50:50 mix of the t10, c12 and c9, t11 isomers) and it was mentioned that there is insufficient data in humans to determine if higher doses would produce higher weight loss.

Findings/conclusions: sheep and buffalo milk had higher content of t10, c12 isomer and a modest reduction in fat loss of approximately 0.09 kg per week was found. Milk proteins also play an important role against metabolic diseases. In this regard, camel milk has peptides with antidiabetic and anti-obesity properties.

Keywords: milk, obesity, fatty acids, peptides.

RESUMEN

Objetivo: examinar como el consumo de leche puede favorecer al sobrepeso y obesidad cuando se consume con saborizantes; por otro lado, se examinó el efecto de consumir leche sin saborizantes sobre las enfermedades metabólicas.

Diseño/metodología/aproximación: el presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect con las palabras clave leche, obesidad, ácidos grasos, péptidos.

Resultados: de los ácidos grasos de la leche, el ácido linoléico tiene un efecto sobre la composición de grasa corporal y de este, el isómero t10, c12 ha sido identificado como el responsable de la disminución de la grasa corporal y que los mecanismos por los cuales el isómero t10, c12 afecta la grasa corporal incluyen la reducción de la acumulación de lípidos por los adipocitos.



Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 109-113.

Recibido: octubre, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.

Limitaciones del estudio/implicaciones: en estudios realizados previamente, la dosis más alta proporcionada en un ensayo en humanos hasta la fecha es de 6.8 g/d (50:50 mezcla de los isómeros t10, c12 y c9, t11) y se mencionó que no hay datos suficientes en humanos para determinar si dosis más altas producirán más pérdida de peso.

Hallazgos/conclusiones: la leche de oveja y de búfala presentaron mayor contenido del isómero t10, c12 y se encontró una modesta reducción de la pérdida de grasa de aproximadamente 0.09 kg por semana. Las proteínas de la leche también juegan un papel importante contra enfermedades metabólicas. En este tenor, la leche de camello tiene péptidos con propiedades anti diabéticas y antiobesidad.

Palabras clave: leche, obesidad, ácidos grasos, péptidos

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial para la Salud en 1997, declaró al sobrepeso y a la obesidad como un problema de salud pública y como epidemia a nivel mundial, un índice de masa corporal $\geq 25 \text{ kg m}^{-2}$ es considerado como sobrepeso y $\geq 30 \text{ kg m}^{-2}$ es considerado como obesidad. En la encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT, 2016) el sobrepeso y la obesidad se encuentran entre los problemas de salud pública más importantes del país. El ENSANUT (2016) menciona que la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en la población de 5 a 11 años disminuyó de 34.4% en 2012 a 33.2% en 2016, una reducción de 1.2 puntos porcentuales; sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa. Las prevalencias de sobrepeso (20.6%) y de obesidad (12.2%) en niñas en 2016 fueron muy similares a las observadas en 2012 (sobrepeso 20.2% y obesidad 11.8%). En niños hubo una reducción de sobrepeso entre 2012 (19.5%) y 2016 (15.4%) que resultó estadísticamente significativa; mientras que las prevalencias de obesidad en 2012 (17.4%) y 2016 (18.6%) no fueron estadísticamente diferentes. La prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad fue mayor en localidades urbanas que en las rurales (34.9 vs 29.0%) y las diferencias entre regiones no fueron estadísticamente significativas.

En adolescentes de entre 12 y 19 años el ENSANUT (2016) reporta que la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad fue de 36.3%, 1.4 puntos porcentuales superior a la prevalencia en 2012 (34.9%). Sin embargo, esta diferencia no es estadísticamente significativa. La prevalencia de sobrepeso (26.4%) en adolescentes de sexo femenino en 2016 fue 2.7 puntos porcentuales superior a la observada en 2012 (23.7%). Esta diferencia es estadísticamente significativa. En cambio, la prevalencia de obesidad (12.8%) es similar a la observada en 2012 (12.1%). En los adolescentes de sexo masculino no hubo diferencias significativas entre 2012 y 2016. La prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad en áreas urbanas pasó de 37.6% en 2012 a 36.7% para 2016, mientras dicha prevalencia en áreas rurales aumentó 8.2% en el mismo periodo de tiempo. Las diferencias entre regiones no fueron estadísticamente significativas.

Para adultos de 20 años y más el ENSANUT (2016) reporta que la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad pasó de 71.2% en 2012 a 72.5% en 2016; este aumento de 1.3 puntos porcentuales no fue estadísticamente significativo. Las prevalencias tanto de sobrepeso como de obesidad y de obesidad mórbida fueron más altas en el sexo femenino. Aunque las prevalencias combinadas de sobrepeso y obesidad no son muy diferentes en zonas urbanas (72.9%) que en rurales (71.6%), la prevalencia de sobrepeso fue 4.5 puntos porcentuales más alta en las zonas rurales, mientras que la prevalencia de obesidad fue 5.8 puntos porcentuales más alta en las zonas urbanas.

En este tenor, los niños con problemas de sobrepeso y obesidad son susceptibles a desarrollar enfermedades que antes eran exclusivas de adultos, como diabetes mellitus 2, hipertensión arterial, enfermedades cardiovasculares, aumento de triglicéridos y colesterol (ANSA, 2010). Botero y Wolfsdorf (2005) mencionan en su revisión que derivado de nuestro actual estilo de vida; el sobrepeso o la obesidad son responsables del incremento de diabetes mellitus tipo 2, tanto en niños como en adultos. De acuerdo con Hu *et al.* (2008), existe una relación positiva fuerte entre un alto índice de masa corporal y el gasto público en cuidados médicos; en este tenor, el sobrepeso y obesidad en niños representa un problema de salud pública nacional, ya que de no atender actualmente este problema en la población infantil (entre los 5 y 11 años), el sistema nacional de salud exigirá en un futuro mayor demanda de recursos económicos e infraestructura.

De acuerdo con el ANSA (2010), el sobrepeso y la obesidad están más asociados al consumo de alimentos con baja calidad nutricional y al estilo de vida de cada persona que al factor hereditario, estos hábitos generalmente se asocian con la preferencia de una dieta con baja combinación de diferentes grupos de alimentos y caracterizada por un alto contenido en grasas saturadas, azúcares, edulcorantes calóricos, sodio y harinas refinadas. De acuerdo con Patel *et al.* (2018), los jóvenes en crecimiento (4 a 20 años) son particularmente vulnerables a la disminución de la ingesta de leche; si bien consumen suficiente proteína, no cumplen con los consumos recomendados para la vitamina D y el calcio que promueven la salud ósea. La adición de azúcar a la leche ha surgido como una forma de promover su consumo y aunque la leche enriquecida con saborizantes contiene la mitad de la asignación diaria de azúcar de un niño, es uno de los principales contribuyentes de la ingesta de azúcar y grasa en las escuelas. A pesar de que la leche con sabor incrementa la ingesta de leche, la mayoría de los estudios también sugieren que la leche con sabor puede contribuir a la ingesta de un mayor número de calorías; no obstante, en el estudio realizado por Vanselow *et al.* (2009) no se observó aumento significativo en el índice de masa corporal entre la población de consumidores de leche con sabor y a diferencia de los últimos autores, en otros dos estudios se mostró una tendencia hacia aumentos significativos en el índice de masa corporal y se asoció significativamente con el aumento de peso en niños obesos (Albala *et al.*, 2008; Noel *et al.*, 2013). El consumo de leche es importante debido a que es una excelente fuente de nutrientes y

aminoácidos esenciales para los seres humanos, adicionalmente tienen otras funciones, tales como estimular el sistema inmunológico y la protección contra diversas enfermedades que se examinarán más adelante.

Un segundo factor importante, asociado al sobrepeso y obesidad, es la falta de actividad física, principalmente en la población escolar de áreas urbanas. En el ANSA (2010), se presentaron estrategias para promover una nueva cultura de salud, las cuales consideran en general: promover la práctica regular de activación física para evitar el sedentarismo y sus efectos en la salud de la comunidad estudiantil; impulsar el desarrollo de hábitos alimenticios correctos que garanticen el desarrollo de los alumnos como medida para la prevención y/o disminución del sobrepeso y obesidad así como de otras enfermedades derivadas de una nutrición no adecuada. Ante estas estrategias, existen evidencias científicas para atender este problema de salud pública en México, Bonvecchio-Arenas *et al.* (2010) implementaron y evaluaron estrategias para la modificación del ambiente escolar que promueva estilos de vida saludables, de actividad física y alimentación, para prevenir el sobrepeso y obesidad en niños de escuelas públicas de la ciudad de México. Sus resultados muestran que la implementación de estrategias de alimentación, actividad física y comunicación durante dos años escolares en 16 escuelas aumentó la disponibilidad de frutas, verduras y agua para el consumo; sin embargo, se observaron pocos cambios individuales, aunque se observó una tendencia positiva de dichas estrategias. Por otro lado, se han evaluado los aspectos determinantes de la obesidad en niños de edad preescolar, tomando en cuenta la percepción de los padres y las prácticas relacionadas con la alimentación y la actividad física. En cuanto a la alimentación saludable, las determinantes positivas fueron; la aceptación por parte de los padres de preparar comida saludable en casa y la compra de alimentos con calidad nutricional; este fue un aspecto importante en su estudio porque la compra de comida rápida y alimentos enlatados para ahorrar tiempo en la preparación de alimentos fue una determinante negativa.

Ácidos grasos como estrategia para reducir la obesidad

Como se mencionó previamente, la buena alimentación como estrategia para reducir el problema de sobrepeso y obesidad mostró resultados positivos; sin embargo, puede mejorarse mediante la administración de suplementos ricos en ácidos grasos poliinsaturados (cis-3; cis-9, trans-11; trans-10, cis-12). Esta hipótesis ha sido evaluada por diversos investigadores en el mundo. En el meta-análisis realizado por Whigham *et al.* (2007), se evaluaron los efectos de la suplementación de ácido linoléico conjugado (CLA por sus siglas en inglés) sobre la composición de grasa corporal en personas adultas o mayores de 18 años; y concluyen que la suplementación con CLA tuvo un efecto benéfico sobre la reducción de grasa corporal aunque en promedio el efecto fue modesto. En el estudio realizado por Chen *et al.* (2012) se encontró que la suplementación con ALC durante 12 semanas resultó en una reducción de los índices de sobrepeso y obesidad. En los estudios realizados para investigar este efecto en niños, Backer *et al.* (2007) y Racine *et al.* (2010) mencionan que el sobrepeso y la obesidad durante la niñez están asociadas con alta probabilidad de desarrollar sobrepeso u obesidad y sus problemas que conlleva en la etapa adulta. López-Alarcón *et al.* (2011) evalua-

ron el efecto de la suplementación con ácidos grasos poliinsaturados (AGP) (cis-3) sobre el peso corporal. En sus resultados se observa que después de un mes de tratamiento, un grupo de niños perdió peso y otro grupo de niños aumentó peso, ambos grupos asignados al tratamiento cis-3; sin embargo, concluyen que la suplementación con el AGP cis-3 es una herramienta con potencial benéfico para niños en riesgo de obesidad. Los AGP; cis-9, trans-11 y trans-10, cis-12 son considerados como los que tienen mayor actividad fisiológica y cuando se suplementan a razón de 50:50, han mostrado ser más efectivos sobre la reducción de grasa corporal en animales de laboratorio (Park *et al.*, 1999) y en niños con sobrepeso y obesidad. En el Cuadro 1 se muestra el contenido de ácidos grasos de la leche en diferentes especies incluyendo la del ser humano. De acuerdo con Whigham *et al.* (2007) el CLA se refiere a un grupo de isómeros geométricos posicionales del ácido linoleico que se caracterizan por la presencia de dienos conjugados. El CLA es un componente natural de

las grasas de los animales rumiantes que entran al ser humano mediante el consumo de dietas basadas principalmente en carne y productos lácteos. Se ha demostrado que el CLA tiene efectos biológicos diversos, tales como anticarcinogénesis, antiarterogénesis, modulación inmune y cambios en la composición corporal del individuo.

En la naturaleza, el isómero más abundante del CLA es el *cis-9, trans-11* (c9, t11) y comercialmente los suplementos CLA son típicamente vendidos como una mezcla en igual proporción de los isómeros c9, t11 y t10, c12. De acuerdo con Park *et al.* (1999) y Whigham *et al.* (2007), el isómero t10, c12 ha sido identificado como el responsable de la disminución de la grasa corporal. Los mecanismos por los cuales el isómero t10, c12 afecta la grasa corporal incluyen la reducción de la acumulación de lípidos por los adipocitos mediados por los efectos sobre las lipoproteínas lipasa y esteroil-coenzima A desaturasa. En el meta análisis realizado por Whigham *et al.* (2007) se mostró que el CLA causa una modesta pero significativa reducción de la pérdida de grasa de aproximadamente 0.09 kg por semana en relación con los sujetos en grupos placebo. Aunque este efecto parece ser de poca importancia, es más grande que la tendencia de los estadounidenses a ganar peso en promedio de 0.4 kg cada año (0.009 kg semana⁻¹). En el metaanálisis se identificó que la dosis más alta proporcionada en un ensayo en humanos hasta la fecha es de 6.8 g d⁻¹ (50:50 mezcla de los isómeros t10, c12 y c9, t11), y se mencionó que no hay datos suficientes en humanos para determinar si dosis más altas producirán más pérdida de peso ya que 3.4 g d⁻¹ resultó en una pérdida de peso de 0.14 kg semana⁻¹, mientras que la dosis de 6.8 g/día resultó en una pérdida de peso de 0.11 kg semana⁻¹.

Péptidos de la leche para prevenir la diabetes y la obesidad

Dentro de las estructuras primarias de las proteínas de la leche se codifican varios péptidos bioactivos que poseen amplia gama de actividades biológicas. La liberación de estos péptidos bioactivos latentes mediante hidrólisis

intestinal o enzimas exógenas o la fermentación microbiana puede proporcionar una serie de efectos beneficiosos en el consumidor. Entre las proteínas dietéticas, las de la leche son particularmente ricas en triptófano que puede ser liberado por enzimas proteolíticas o peptidolíticas, ya sea como un aminoácido libre o como parte de secuencias peptídicas. De acuerdo con Nongonierma y FitzGerald (2015) y Mudgil *et al.* (2018) se ha demostrado de manera in vitro que diferentes péptidos que contienen triptófano originado de proteínas de la leche, muestran amplia gama de bioactividad, tales como la inhibición de la enzima convertidora de

Cuadro 1. Contenido de ácidos grasos de la leche en diferentes especies.

Ácido graso	Humana ¹	Vaca ²	Oveja ³	Cabra ⁴	Búfala ⁵
	(g 100 g ⁻¹ ácidos grasos totales)				
Saturado (AGS)	43.79	73.0	Nd	71.8	72.0
Insaturado (AGU)	Nd	27.1	Nd	28.6	Nd
Mono insaturado	40.2	Nd	Nd	26.5	24.7
Poli insaturado	Nd	Nd	Nd	2.61	3.1
Acido Linoleico Conjugado Total	Nd	Nd	Nd	0.47	Nd
CLA					
(<i>cis-9, trans-11</i> C18:2)	Nd	Nd	0.34	0.33	0.41
<i>trans-10, cis-12</i> C18:2 (t10, c12)	Nd	Nd	0.21	0.15	0.24
Linolenico					
(C18:3 n-3)	0.94	55.1	Nd	0.34	0.23
Linoleico					
(C18:2 n-6)	10.56	14.2	Nd	0.15	1.51

¹Chang *et al.* (2018); ²Liu *et al.* (2018); ³Hilali *et al.* (2018); ⁴Kholif *et al.* (2018); ⁵Correddu *et al.* (2017). Nd: no cuantificado.

angiotensina (ECA), junto con propiedades relacionadas con antioxidantes, antidiabéticos y saciantes. Recientemente Mudgil *et al.* (2018) demostraron que las proteínas de la leche de camello (*Camelus ferus* L.) constituyen una fuente interesante de péptidos bioactivos con potencial de inhibir enzimas metabólicas clave relacionadas con trastornos como la diabetes y la obesidad.

CONCLUSIONES

Los ácidos grasos de la leche el ácido linoléico tiene un efecto sobre la composición de grasa corporal, y de éstos, el isómero $\tau 10$, $c12$ ha sido identificado como el responsable de la disminución de la grasa corporal, ya que los mecanismos por los cuales el isómero $\tau 10$, $c12$ afecta la grasa corporal incluyen la reducción de la acumulación de lípidos por los adipocitos. Las proteínas de la leche también juegan un papel importante contra enfermedades metabólicas. En este tenor, la leche de camello tiene péptidos con propiedades antidiabéticas y antiobesidad.

LITERATURA CITADA

- Albala C., Ebbeling C.B., Cifuentes M., Lera L., Bustos N., Ludwig D.S. 2008. Effects of replacing the habitual consumption of sugar-sweetened beverages with milk in Chilean children. *American Journal of Clinical Nutrition*, 88, 605–611.
- Acuerdo Nacional para la Salud Alimentaria (ANSA) 2010. Estrategia contra el Sobrepeso y la Obesidad. Programa de Acción en el Contexto Escolar. Secretaría de Educación Pública. Primera Edición, Mexico D.F. 33 pags.
- Backer J.L., Olsen L.W., Sorensen T.I. 2007. Childhood body-mass index and the risk of coronary heart disease in adulthood. *The New England Journal of Medicine*, 357, 2329–2337.
- Bonvecchio-Arenas, A., Theodore, F.L., Hernández-Cordero, S., Campirano-Núñez, F., Islas, A.L., Safdie, M., Rivera-Dommarco, J.A. 2010. La escuela como alternativa en la prevención de la obesidad: la experiencia en el sistema escolar mexicano. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*, 16, 13-16.
- Botero D., Wolfsdorf I.J. 2005. Diabetes Mellitus in Children and Adolescents. *Archives of Medical Research*, 36, 281-290.
- Chang G.A.O., Gibson R.A., Mcphee A.J., Zhou S.J., Collins C.T., Makrides M., Miller J., Liu G. 2018. Comparison of breast milk fatty acid composition from mothers of premature infants of three countries using novel dried milk spot technology, Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids (PLEFA), doi: <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2018.08.003>.
- Chen S.C., Lin Y.H., Huang H.P., Hsu W.L., Houg J.Y., Huang C.K. 2012. Effect of conjugated linoleic acid supplementation on weight loss and body fat composition in a Chinese population. *Nutrition*, 28, 559–565.
- Correddua F., Serdino J., Manca M.G., Cosenza G., Pauciullo A., Ramunno L., Macciotta N.P.P. Use of multivariate factor analysis to characterize the fatty acid profile of buffalo milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 60, 25–31.
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2016. Resultados Nacionales. Instituto Nacional de Salud Pública. Cuernavaca, Morelos, México. 200 pags.
- Hilali M., Rischkowsky B., Iñiguez L., Mayer H., Schreiner M. 2018. Changes in the milk fatty acid profile of Awassi sheep in response to supplementation with agro-industrial by-products. *Small Ruminant Research*, 166, 93–100.
- Hu H.Y., Chou Y.J., Chou P., Lee C.H., Lee M.C., Huang N., 2008. Association between obesity and medical care expenditure among Taiwanese adults. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*, 17, 492–504.
- Kholif A.E., Morsy T.A., Abdo M.M. 2018. Crushed flaxseed versus flaxseed oil in the diets of Nubian goats: Effect on feed intake, digestion, ruminal fermentation, blood chemistry, milk production, milk composition and milk fatty acid profile. *Animal Feed Science and Technology*, 244, 66–75.
- Liu S., Zhang R., Kang R., Meng J., Ao C. 2016. Milk fatty acids profiles and milk production from dairy cows fed different forage quality diets. *Animal Nutrition*, 2, 329-333.
- López-Alarcón M., Martínez-Coronado A., Velarde-Castro O., Rendón-Macías E., Fernández J. 2011. Supplementation of n3 Long-chain Polyunsaturated Fatty Acid Synergistically Decreases Insulin Resistance with Weight Loss of Obese Prepubertal and Pubertal Children. *Archives of Medical Research*, 42, 6, 502-508.
- Noel S.E., Ness A.R., Northstone K., Emmett P., Newby P.K. 2013. Associations between flavored milk consumption and changes in weight and body composition over time: differences among normal and overweight children. *European Journal of Clinical Nutrition*, 67, 295–300.
- Park Y, Storkson JM, Albright KJ, Liu W, ParizaMW. 1999. Evidence that the trans-10, cis-12 isomer of conjugated linoleic acid induces body composition changes in mice. *Lipids*, 34, 235– 41.
- Patela A.I., Moghadam S.D., Freedman M., Hazari A., Fang M.N., Allen I.E. 2018. The association of flavored milk consumption with milk and energy intake, and obesity: A systematic review. *Preventive Medicine*, 111, 151-162.
- Vanselow M.S., Pereira M.A., Neumark-Sztainer D., Ratz S.K. 2009. Adolescent beverage habits and changes in weight over time: findings from project EAT. *American Journal of Clinical Nutrition*, 90, 1489–1495.
- Whigham I.D., Watras A.C., Schoeller D.A. 2007. Efficacy of conjugated linoleic acid for reducing fat mass: a meta-analysis in humans. *American Journal of Clinical Nutrition*, 85, 1203–1211.

PROBIOTICS AND NEURODEGENERATIVE DISEASES

PROBIOTICOS Y ENFERMEDADES NEURODEGENERATIVAS

Rayas-Amor, A.A.¹; Martínez-García, C.G.²; García-Martínez, A.³; García-Garibay, M.¹; Jiménez-Guzmán, J.¹

¹Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación. Av. de las Garzas No. 10, Col. El Panteón Lerma de Villada, Estado de México C.P. 52005.

²Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto de Ciencias Agropecuarias y Rurales, El Cerrillo Campus Toluca, Estado de México, México. ³Universidad Autónoma del Estado de México, Centro Universitario Temascaltepec. Temascaltepec, Estado de México, México.

*Autor de correspondencia: jjimenez@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: The objective of this review was to explore the effects of prebiotics on probiotics and how they affect some neurodegenerative diseases.

Design/methodology/approach: The present work consisted in performing a search of scientific articles in SCOPUS and ScienceDirect using the keywords: prebiotic, probiotic, diseases and neurodegenerative.

Results: Breast milk consumed by the infant constantly supplies probiotic bacteria belonging to the genera *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, and *Bifidobacterium*, which perform the function of commensals in the intestine of the newborn baby and generate benefits such as being antimicrobial, anti-inflammatory and modulators of the immune response.

Study limitations/implications: Probiotic supplementation shows some hopeful trends that deserve studies with longer periods to assess whether probiotics have a clinically significant impact on cognitive and metabolic symptoms.

Findings/conclusions: The activity of probiotic bacteria can be favored by components with prebiotic activity such as oligosaccharides, non-protein nitrogen components and proteins, presenting a clinically significant impact on cognitive and metabolic symptoms.

Keywords: probiotic, diseases, neurodegenerative.

RESUMEN

Objetivo: El objetivo de la presente revisión fue explorar los efectos que tiene los prebióticos sobre los probióticos y su efecto en algunas enfermedades neurodegenerativas.

Diseño/metodología/aproximación: el presente trabajo consistió en realizar una búsqueda de artículos científicos en SCOPUS y ScienceDirect con las palabras clave prebiótico, probiótico, enfermedades y neurodegenerativa.

Resultados: la leche materna consumida por el infante aporta constantemente bacterias probióticas pertenecientes a los géneros; *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, y *Bifidobacterium* realizando la función de comensales en el intestino del recién nacido y generan beneficios como; antimicrobianos, antiinflamatorios y moduladores de la respuesta inmunitaria.

Limitaciones del estudio/implicaciones: La suplementación probiótica muestra algunas tendencias esperanzadoras que merecen estudios con periodos más extensos para evaluar si los probióticos tienen un impacto clínicamente significativo en los síntomas cognitivos y metabólicos.

Hallazgos/conclusiones: La actividad de las bacterias probióticas puede ser favorecida por los componentes con actividad prebiótica tales como; los oligosacáridos, componentes del nitrógeno no proteico y las proteínas, presentando un impacto clínicamente significativo en los síntomas cognitivos y metabólicos.

Palabras clave: probiótico, enfermedades, neurodegenerativas

el crecimiento y la actividad de un grupo selectivo de bacterias. Hill *et al.* (2014) y Tarr *et al.* (2015) definen a los probióticos como microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades adecuadas confieren un beneficio para la salud en el huésped (Cuadro 1).

Prebióticos de la leche

Hasta el momento se conocen tres tipos de componentes con actividad prebiótica (componentes bioactivos), tales como los oligosacáridos, componentes del nitrógeno no proteico y las proteínas. Las Figuras 1 y 2 ilustran los compuestos bioactivos mencionados anteriormente.

De acuerdo con Coppa *et al.* (1999) y Zancada (2008), la leche humana contiene más de 130 oligosacáridos complejos, tiene un alto contenido de oligosacáridos cuando ya es leche madura (de 12 a 14 g L⁻¹) y en calostro de 20 a 23 g L⁻¹. En la leche de vaca Coppa *et al.* (1999) describieron 10 oligosacáridos sialilados y 8 neutros, el contenido es de 0.7 a 1.2 g L⁻¹ en calostro (Veh *et al.*, 1981). Se considera que la leche humana es la única con éste elevado contenido en oligosacáridos complejos fucosilados y sialilados. Los oligosacáridos fucosilados representan entre el 50 y 80%, los sialilados entre un 10 a 30% (Kunz *et al.*, 1999). Existen pocos datos en la bibliografía científica sobre del contenido de oligosacáridos de la leche madura de oveja que es de 0.03 g L⁻¹ (Cuadro 1). El calostro de oveja contiene oligosacáridos neutros α 3'-, β 3'- y β 6'-galactosillactosa, muy poco abundantes en la leche humana y de vaca, y 3'-sialillactosa (NeuAc) y 3'- y 6'-sialillactosa conteniendo NeuGc más habituales (Urashima *et al.*, 1989 y 2001; Nakamura *et al.*, 1998; Zancada, 2008).

INTRODUCCIÓN

Desde hace un par de décadas, se ha presentado un aumento en el conocimiento respecto a los efectos específicos de los prebióticos de la leche humana, los cuales se encuentran en cantidades traza o nulas en la leche de otras especies; no obstante, antes de profundizar en el tema, primero debemos dejar clara la diferencia entre prebiótico y probiótico. De acuerdo con Gibson *et al.* (2010) y Tarr *et al.* (2015), un prebiótico se define como un componente o componentes alimentarios no digeribles que confieren un beneficio para la salud en el huésped asociado con la modulación de la microbiota, dicho de otra forma; son compuestos no digeribles de los alimentos que pueden mejorar

Cuadro 1. Contenido promedio de proteína, lípidos, lactosa y oligosacáridos en leche de diversas fuentes.

Componente	Humana	Vaca	Oveja	Cabra	Búfala	Camella	Yak
	g L ⁻¹						
Proteína	10	33	52	35	36	36	50
Lípidos	40	40	79	42	74	45	70
Lactosa	65	47	48	43	55	50	46
Oligosacáridos (prebióticos)	10	0.045	0.03	0.27	--	--	--

Fuente: elaboración propia con datos de Martínez-Férez (2004) y Kunz (2016)

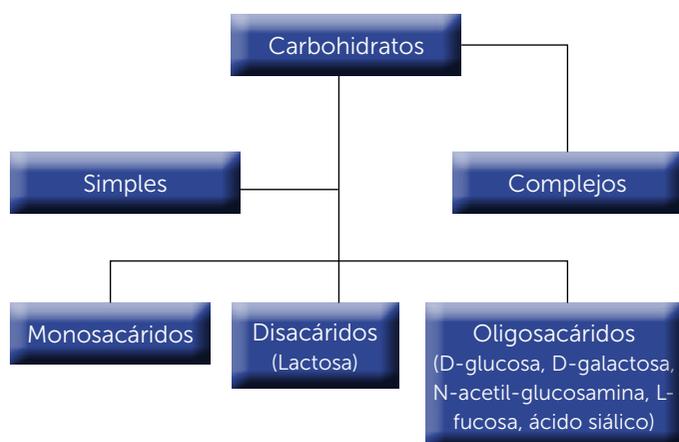


Figura 1. Componentes de los carbohidratos con actividad prebiótica. Fuente: elaboración propia con información de Martínez-Férez (2004) y Zancada (2008).

Hasta donde se sabe se han identificado más de 100 oligosacáridos que son estructuralmente diferentes y debido a esto se ha evidenciado que por sus características estructurales presentan diversas funcionalidades.

La Figura 2 muestra los componentes nitrogenados y proteicos con actividad prebiótica. Se denomina nitrógeno no proteico (NNP) a los compuestos de nitrógeno que pueden ser convertidos en proteínas. Muchos organismos superiores sólo pueden obtener aminoácidos absorbiéndolos de la dieta, y una vez incorporados, pueden convertir algunos aminoácidos en otros diferentes. Los organismos que pueden utilizar el NNP son los hongos, plantas, algas, bacterias y organismos que viven en simbiosis. Los compuestos que forman el NNP son los que contienen amoníaco, nitritos, nitratos, urea o el ácido úrico, de los cuales se pueden obtener los nucleótidos que sirven como inmunomoduladores y son promotores de las bifidobacterias (maduración y proliferación gastrointestinal). De acuerdo con Lönnerdal (2013), la κ -caseína inhibe la adhesión de microorganismos patógenos a las mucosas, la lactoferrina presenta acción bacteriostática por su capacidad de ligar hierro, favorece la absorción del hierro y estimula la proliferación y diferenciación celular. Las proteínas del suero contienen péptidos prebióticos, antibacterianos y compuestos quelantes.

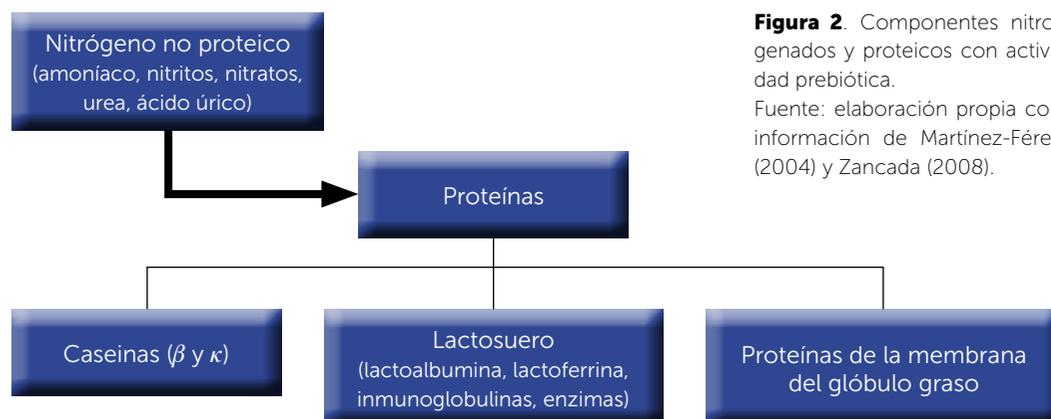


Figura 2. Componentes nitrogenados y proteicos con actividad prebiótica.

Fuente: elaboración propia con información de Martínez-Férez (2004) y Zancada (2008).

Probióticos de la leche

De acuerdo con Novak et al. (2001) y Heikkilä et al. (2003), la leche humana se considera hasta el momento una fuente de alimento estéril por la comunidad científica, no obstante, diversos grupos de investigación alrededor del mundo han detectado, aislado, caracterizado y seleccionado bacterias probióticas procedentes de la leche humana, ya que cuando es consumida por el infante aporta constantemente bacterias pertenecientes a los géneros *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, y *Bifidobacterium* que realizan la función de comensales en el intestino del recién nacido y que generan diversos beneficios, tales como antimicrobianos, antiinflamatorios y moduladores de la respuesta inmunitaria (Fernández et al., 2013). De acuerdo con Donovan (2016), la microbiota intestinal de los lactantes alimentados con seno materno, difiere a la de los lactantes alimentados con fórmula, debido en parte, a las altas concentraciones de oligosacáridos de la leche humana (OLH) y que están ausentes en las fórmulas infantiles. Los OLH son resistentes a la digestión e influyen sobre la composición del microbioma intestinal del lactante en varias maneras: al funcionar como prebióticos, al actuar como sustratos para la fermentación en ácidos grasos de cadena corta y al reducir los patógenos. La microbiota intestinal de los lactantes alimentados al seno materno típicamente está dominada por especies de bifidobacterias, con un enriquecimiento único de *Bifidobacterium longum* sp. *infantis* o *B. infantis*. La mayoría de las especies de bifidobacterias que crecen en HMO sólo metabolizan uno de los OLH predominantes, principalmente la lacto-N-tetraosa, mientras que *B. infantis* crece bien en varios OLH. Mediante secuenciación genómica se identificó que *B. infantis* es única, ya que contiene todas las proteínas de transporte de oligosacáridos y enzimas necesarias para transportar OLH intactos hacia la célula, donde se degradan internamente. En contraste, otras especies de

Bifidobacterias y Bacteroides cuentan con las enzimas para degradar los OLH en su membrana celular externa y luego transportar los productos hacia la célula para su metabolización. Si el OLH se hidroliza fuera de la célula, entonces otras bacterias tienen acceso a estos azúcares, lo que se denomina alimentación cruzada.

Efectos de los probióticos en las enfermedades neurodegenerativas

Se ha reportado que los probióticos tienen efectos benéficos sobre enfermedades crónicas. En un estudio previo realizado por Kouchaki *et al.* (2017) entre sujetos con trastorno depresivo se demostró que la suplementación con probióticos después de ocho semanas, tuvo efectos útiles sobre la depresión y parámetros metabólicos, observándose mejoras en parámetros de salud mental. Sin embargo, no se observó alteración significativa en los síntomas psiquiátricos después de la ingesta de *Lactobacillus rhamnosus* y *Bifidobacterium animalis* durante 14 semanas en pacientes con esquizofrenia. La ingesta de probióticos puede resultar en la mejora de discapacidades, en la salud mental y en los indicadores metabólicos debido a su efecto sobre la red neuronal y por el efecto sobre la expresión génica. Uno de los factores que influyen en la integridad de la barrera intestinal es la microbiota intestinal, que regula la barrera intestinal cambiando la expresión y distribución de proteínas de unión estrecha (Ulluwishewa *et al.*, 2011). La microbiota intestinal también está involucrado en funciones biológicas y metabólicas, tales como la síntesis y metabolismo de nutrientes, hormonas y vitaminas, a la eliminación de drogas y toxinas; aporte de energía que de otra manera no estarían disponibles para la modulación de la actividad cerebral y comportamiento a través del eje intestinal-cerebral del huésped (Louis, 2012; Mangiola *et al.*, 2016; Sharon *et al.*, 2016). En los últimos años, el eje microbiota-tracto digestivo-cerebro se ha convertido en un foco de atención considerable por su papel en la generación de comportamientos desordenados, tales como el autismo (Li y Zhou, 2016). Esto ha sucedido especialmente como resultado de los hallazgos encontrados en animales en los cuales se ha relacionado a la microbiota intestinal con comportamientos del síndrome de autismo, ejemplo de lo antes mencionado es el estudio realizado por Desbonnet *et al.* (2014) y Stilling *et al.* (2015) donde se estudió a ratones libres de gérmenes en su tracto intestinal, los autores encontraron una preferencia por pasar el tiempo en una cámara vacía, y la falta de interés de explorar novedades en un ratón familiar, siendo

estos síntomas centrales del síndrome de autismo, tales como la comunicación deficiente, disminución de la interacción social, y comportamiento repetitivo/estereotipado. Adicionalmente se encontró que tienen una expresión génica diferencial asociada con la estructura y función neuronal en la amígdala, una región del cerebro importante para las emociones, la ansiedad y los comportamientos sociales.

De acuerdo con Qiu *et al.* (2007), Amemori *et al.* (2015) y Akbari *et al.* (2016), la enfermedad de Alzheimer es reconocida como una de las formas más comunes de demencia senil que comienza con la pérdida de memoria de eventos recientes (deterioro de memoria a corto plazo) y finalmente roba a los pacientes su sentido de sí mismo. La enfermedad de Alzheimer se asocia con deficiencias cognitivas graves, así como a algunos trastornos metabólicos. Los escasos estudios en modelos animales han sugerido un vínculo entre los probióticos y la función cognitiva, por ejemplo, Akbari *et al.* (2016) realizaron un ensayo clínico con 60 pacientes diagnosticados con la enfermedad de Alzheimer para evaluar los efectos de la suplementación de probióticos en la función cognitiva y el estado metabólico. El grupo suplementado con probióticos tomó 200 ml d⁻¹ de leche probiótica que contenía *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei*, *Bifidobacterium bifidum* y *Lactobacillus fermentum* (2×10⁹ UFC g⁻¹ para cada uno) durante 12 semanas, mostraron que el consumo de estos probióticos afectó positivamente la función cognitiva y algunos estados metabólicos en los pacientes diagnosticados con la enfermedad de Alzheimer.

CONCLUSIONES

La leche, consumida por el infante, te aporta constantemente bacterias probióticas pertenecientes a los géneros; *Lactobacillus*, *Staphylococcus*, *Enterococcus*, y *Bifidobacterium* que realizan la función de comensales en el intestino del recién nacido y generan beneficios, tales como antimicrobianos, antiinflamatorios y moduladores de la respuesta inmunitaria. La actividad de las bacterias probióticas puede ser favorecida por los componentes con actividad prebiótica tales como los oligosacáridos, componentes del nitrógeno no proteico y las proteínas. La suplementación probiótica muestra algunas tendencias esperanzadoras que merecen estudios con periodos más extensos para evaluar si los probióticos tienen un impacto clínicamente significativo en los síntomas cognitivos y metabólicos.

LITERATURA CITADA

- Akbari E., Asemi Z., Kakhaki R.D., Bahmani F., Kouchaki E., Tamtaji O.R., Hamidi G.A., Salami M. 2016. Effect of Probiotic Supplementation on Cognitive Function and Metabolic Status in Alzheimer's Disease: A Randomized, Double-Blind and Controlled Trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 1-8.
- Amemori, T., Jendelova, P., Ruzicka, J., Urdzikova, L. M., and Sykova, E. (2015). Alzheimer's disease: mechanism and approach to cell therapy. *International Journal of Molecular Science*, 16, 26417–26451.
- Coppa G. V., Pierani P., Zampini L., Carloni I., Carlucci A., Gabrielli, O. 1999. Oligosaccharides in human milk during different phases of lactation. *Acta Paediatrica*, 430, 89-94.
- Doenys C. 2018. Gut microbiota, inflammation, and probiotics on neural development in autism spectrum disorder. *Neuroscience*, 374, 271–286.
- Donovan M. S. 2016. Oligosacáridos de la leche humana y el microbioma intestinal del lactante. En: *El nidito*. Nestle Nutrition Institute. Impreso en México. Consultado el 02 de octubre del 2018. Disponible en: <https://www.nestlenutrition-institute.org/docs/default-source/latam-document-library/publications/secured/849eaa6fc0c0da4622985d0afece71cf.pdf?sfvrsn=0>
- Fernández L., Langa S., Martín V., Maldonado A., Jiménez E., Martín R., Rodríguez J.M. 2013. The human milk microbiota: origin and potential roles in health and disease. *Pharmacological Research*, 69, 1-10.
- Gibson G.R., Scott K.P., Rastall R.A., Tuohy K.M., Hotchkiss A., Dubert-Ferrandon A., Gareau M., Murphy E.F., Sautnier D., Loh G., Macfarlane S., Delzenne N., Ringel Y., Kozianowski G., Dickmann R., Lenoir-Wijnkoop I., Walker C., Buddington R. 2010. Dietary prebiotics: current status and new definition. *Food Science and Technology*, 7, 19.
- Heikkilä M.P., Saris P.E.J. 2003. Inhibition of *Staphylococcus aureus* by the commensal bacteria of human milk, 95, 471-478.
- Hill C., Guarner F., Reid G., Gibson G.R., Merenstein D.J., Pot B., Morelli L., Canani R.B., Flint H.J., Salminen S., Calder P.C., Sanders M.E. 2014. Expert consensus document. The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature Reviews Gastroenterology and Hepatology*, 11, 506–514.
- Kouchaki E., Tamtaji O. R., Salami M., Bahmani F., Daneshvar-Kakhaki R., Akbari E. 2016. Clinical and metabolic response to probiotic supplementation in patients with multiple sclerosis: a randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Clinical Nutrition*. doi: 10.1016/j.clnu.2016.08.015.
- Kunz C. 2016. Oligosacáridos de la leche humana – antecedentes y metabolismo. En: *El nidito*. Nestle Nutrition Institute. Impreso en México. Consultado el 02 de octubre del 2018. Disponible en: <https://www.nestlenutrition-institute.org/docs/default-source/latam-document-library/publications/secured/849eaa6fc0c0da4622985d0afece71cf.pdf?sfvrsn=0>
- Lönnerdal B. 2013. Bioactive proteins in breast milk. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 49, 1-7.
- Louis P. 2012. Does the human gut microbiota contribute to the etiology of autism spectrum disorders?. *Digestive Diseases and Sciences*, 57, 1987–1989.
- Mangiola F., Ianiro G., Franceschi F., Fagioli S., Gasbarrini G., Gasbarrini A. 2016. Gut microbiota in autism and mood disorders. *World Journal of Gastroenterology* 22, 361–368.
- Martínez-Férez A. 2004. Obtención de oligosacáridos de leche de diferentes especies por tecnología de membranas. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. Facultad de Ciencias, Departamento de Ingeniería Química. Consultado el 02 de octubre del 2018. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/46590459_Obtencion_de_oligosacaridos_de_leche_de_diferentes_especies_por_tecnologia_de_membranas
- Nakamura T., Urashima T., Nakagawa M., Saito T. 1998. Sialyllactose occurs as free lactones in ovine colostrum. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1381, 286-292.
- Novak J.E., Ross-Macdonald P.B., Roeder G.S. 2001. The budding yeast Msh4 protein functions in chromosome synapsis and the regulation of crossover distribution. *Genetics*, 158, 1013-25.
- Qiu C., De Ronchi D., Fratiglioni L. 2007. The epidemiology of the dementias: an update. *Current Opinion in Psychiatry*, 20, 380–385.
- Sharon G., Sampson T.R., Geschwind D.H., Mazmanian S.K. 2016. The central nervous system and the gut microbiome. *Cell*, 167, 915–932.
- Tarr J.A., Galley D.J., Fisher S.E., Chichlowski M., Berg B.M., Bailey M.T. 2015. The prebiotics 30'sialyllactose and 60'sialyllactose diminish stressor-induced anxiety-like behavior and colonic microbiota alterations: Evidence for effects on the gut-brain axis. *Brain Behavior and Immunity*, 50, 166–177.
- Ulluwishewa D., Anderson R.C., McNabb W.C., Moughan P.J., Wells J.M., Roy N.C. 2011. Regulation of tight junction permeability by intestinal bacteria and dietary components. *Journal of Nutrition and Health* 141:769–776.
- Urashima T., Saito T., Nishimura J., Ariga H. 1989. New galactosyllactose containing α -glycosidic linkage isolated from ovine (Booroola dorset) colostrum. *Biochimica et Biophysica Acta*, 992, 375-378.
- Zancada V.L. 2008. Estudio del contenido de oligosacáridos, glicolípidos y fosfolípidos de la leche de oveja participación en la defensa del recién nacido frente a infecciones. Tesis Doctoral. Universidad de Salamanca. Departamento de Bioquímica y Biología Molecular. Consultado el 02 de octubre del 2018. Disponible en: https://gedos.usal.es/jspui/bitstream/10366/17857/1/DBBM_Estudio%20del%20contenido%20de%20oligosacaridos.pdf

USE OF FLAVONOIDS AS ACTIVE INGREDIENT IN FUNCTIONAL FOODS

USO DE FLAVONOIDES COMO INGREDIENTE ACTIVO EN ALIMENTOS FUNCIONALES

Ortega-Cabello, L.²; Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Martínez-Casares, R.M.²; Valencia-Ledezma, O.E.²;
López-Luna, A.²; Velázquez-Luna, R.G.²; Ramírez-Lubianos, C.^{1*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana Lerma, Departamento de Ciencias de la Alimentación, Av. de las Garzas 10, El panteón, C.P. 52005 Lerma de Villada, Estado de México. ²Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco, Departamento de Sistemas Biológicos, Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960 Ciudad de México.

*Autor de correspondencia: cramirez@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: To propose adding flavonoids to foods, as well as obtaining them using agro-industrial waste.

Design/Methodology/Approach: A bibliographic review was carried out, analyzing various sources and biological activities of flavonoids, as well as the technologies used for the preparation and formulation of enriched foods.

Results: The nutritional status of the consumer is related to the quality of life, where flavonoids can be used as bioactive compounds due to their different beneficial biological activities in health, which can be incorporated into functional foods through the use of nanotechnology depending on the physicochemical properties of each group of flavonoids. In addition, the use of agro-food waste as a sustainable alternative source for obtaining flavonoids is highlighted.

Study limitations/Implications: Developing the necessary technology to obtain flavonoids from agro-industrial waste, as well as incorporating flavonoids in functional foods.

Findings/Conclusions: The elaboration and formulation of enriched foods continues to be a relevant aspect for the development of functional foods where flavonoids are important compounds that can provide an added value to foods by using nanotechnology, and obtaining them can be sustainable with the use of agro-industrial wastes.

Keywords: flavonoids, functional food.

RESUMEN

Objetivo: Proponer la adición de flavonoides a alimentos y su obtención usando como fuente residuos agroindustriales.

Diseño/ Metodología/ Aproximación: Se realizó una revisión bibliográfica, analizando diversas fuentes y actividades biológicas de flavonoides, así como las tecnologías que se emplean para la elaboración y formulación de alimentos enriquecidos.

Resultados: Se relaciona el estado nutricional del consumidor con la calidad de vida, donde los flavonoides pueden ser usados como compuestos bioactivos debido a sus diferentes actividades biológicas benéficas en la salud, los cuales pueden ser incorporados en alimentos funcionales mediante el uso de nanotecnología dependiendo de sus propiedades fisicoquímicas de cada grupo de flavonoides.

A su vez se destaca el uso de residuos agroalimentarios como una fuente alternativa sustentable para la obtención de los flavonoides.



Limitaciones del estudio/Implicaciones: Desarrollar la tecnología necesaria para obtener flavonoides a partir de residuos agroindustriales, así como la incorporación en alimentos funcionales.

Hallazgos/Conclusiones: La elaboración y formulación de alimentos enriquecidos sigue siendo una vertiente relevante para el desarrollo de alimentos funcionales donde los flavonoides son compuestos importantes que pueden proveer un valor agregado a los alimentos mediante el uso de nanotecnología y además su obtención puede ser sustentable con el uso de residuos agroindustriales.

Palabras clave: Flavonoides y Alimento Funcional.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas ha quedado clara la relación entre el estado nutricional y la calidad de vida, tanto de individuos sanos como en aquellos que presentan enfermedades crónicas (cardiovasculares, cáncer, obesidad, diabetes tipo 2, hipertensión, entre otras), se han buscado diferentes combinaciones de alimentos que aporten los nutrientes necesarios, en función de las condiciones fisiológicas de cada individuo o población. En este contexto, en la década de los ochentas, en Japón, surgen los denominados "alimentos funcionales", concepto que nació ante la necesidad de mejorar la calidad de vida de los ancianos, y actualmente es necesario emplearlos en otros grupos de la población (Olmedilla-Alonso *et al.*, 2014). **Existen diversos conceptos de lo que es un alimento funcional, uno de los más citados, es aquel alimento que, además de sus funciones nutricionales básicas, generen efectos metabólicos o fisiológicos benéficos, útiles en el mantenimiento de una buena salud física y mental.** Se puede considerar un alimento funcional si contiene un componente (sea nutriente o no) con un efecto selectivo de una o varias funciones del organismo. Los ingredientes funcionales más utilizados hasta el momento son las bacterias probióticas, los carbohidratos prebióticos (como las fibras dietarias), múltiples tipos de antioxidantes, vitaminas, minerales y algunos lípidos (Yao *et al.*, 2004; Granato *et al.*, 2017). Algunos de estos compuestos se han incorporado como nutraceuticos en suplementos alimenticios, entre ellos podemos encontrar a los carotenoides, antocianinas y flavonoides; los cuales por su actividad antioxidante han sido utilizados para aliviar síntomas de enfer-

medades como las dislipidemias, cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurológicas por sus actividades antiinflamatorias e inmunomoduladoras, entre otras (Russo *et al.*, 2015). Los flavonoides son metabolitos secundarios de origen vegetal, capaces de inducir la síntesis de enzimas protectoras (Kumar *et al.*, 2013), y diferentes actividades farmacológicas. En la presente revisión se analizará la introducción de los flavonoides en alimentos, así como las fuentes sustentables disponibles.

Flavonoides

Los flavonoides son metabolitos secundarios originados en plantas, como las bayas, cítricos y otros (Figura 1), clasificados dentro de los compuestos polifenólicos (Brodowska, 2017). Su estructura general consta de 15 átomos de carbono, los cuales se hayan distribuidos en dos anillos bencénicos fijados en un anillo heterocíclico (Figura 2). Los grupos hidroxilos que poseen estos compuestos son responsables de la actividad antioxidante ya sea por captura de radicales libres, o por formación de complejos con metales. La actividad terapéutica de los flavonoides está relacionada con uno de los cuatro mecanismos de acción antioxidante para inhibir la formación de especies reactivas de oxígeno y nitrógeno, capturar dichas especies, quelación de metales y regulación de genes antioxidantes (Di Majo *et al.*, 2014).

Los flavonoides se clasifican dependiendo de los sustituyentes o complejos con los que se encuentren (Gonzales *et al.*, 2015) (Cuadro 1). Los flavonoides son responsables del sabor dulce de los cítricos, vino, cerveza o té, debido a posibles complejos con azúcares (carotenoides glicosídicos y antocianinas), también se pueden usar como colorantes naturales como en el caso de las antocianinas con flavonas, excepto los flavanoles (Brodowska, 2017). La mayoría de los flavonoides se pueden encontrar como complejos con diversos azúcares siendo los más abundantes con flavanoles o flavonas y menos frecuentes con chalconas, auronas y flavanonas. La acción terapéutica de estos compuestos está ligada a los sustituyentes del anillo, como se observa en el Cuadro 1. Sin embargo, su uso se ha visto limitado debido a la baja biodisponibilidad que poseen, así como a problemas durante su introducción en diversas formas y su interacción con el consumidor (Gonzales-Smaghe *et al.*, 2015).

Residuos agroindustriales como fuentes sustentables de flavonoides

Los flavonoides son sintetizados en las plantas a partir de la fenilalanina, siendo los compuestos polifenólicos

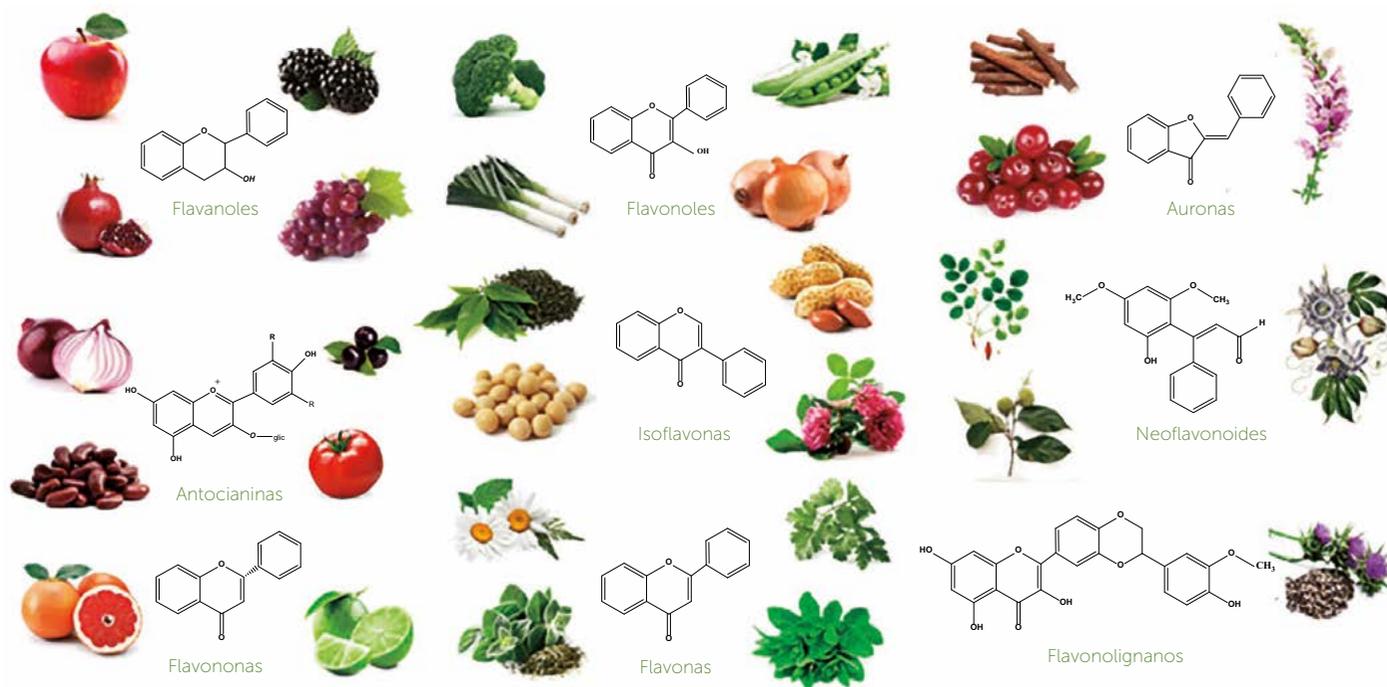


Figura 1. Fuentes de flavonoides.

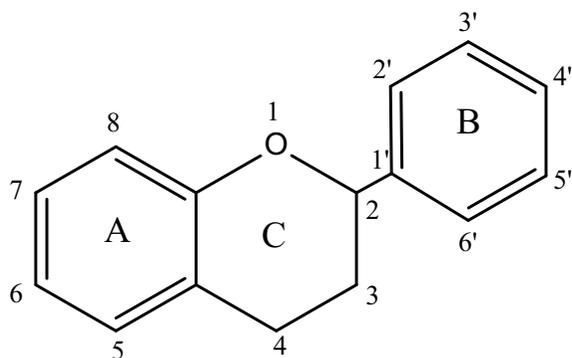


Figura 2. Estructura general de los flavonoides.

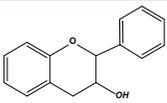
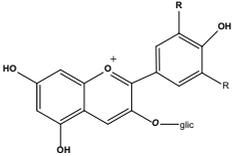
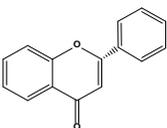
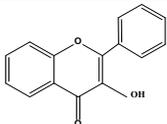
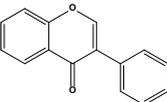
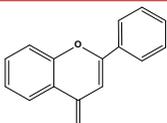
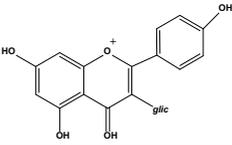
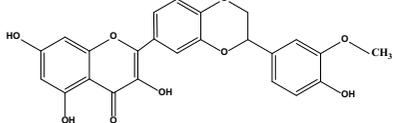
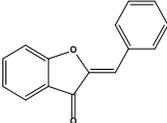
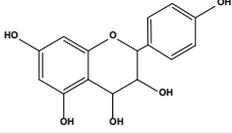
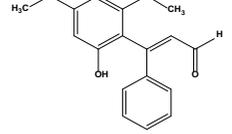
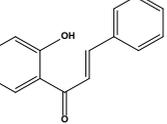
más distribuidos en la naturaleza. Sin embargo, dependiendo del tipo de flavonoide que se esté buscando puede haber fuentes específicas; donde los flavonoles son los flavonoides más abundantes, las flavononas en cítricos (*Citrus* sp.), las catequinas en vinos, té verde y negro (*Camellia sinensis* L.), las antocianinas de manera similar en vinos y en bayas, y las isoflavonas en la soya (*Glycine max* L.), por citar algunos ejemplos (Yao, Jiang et al., 2004; Isaza, 2007; Orlikova et al., 2011; Peñarrieta et al., 2014). En la Figura 1 se muestran las fuentes principales de los flavonoides.

Una fuente alternativa para la obtención de diversos flavonoides sería emplear residuos biodegradables y subproductos producidos por el sector ganadero y agroindustrial, ya que éstos generan grandes cantidades y pueden convertirse en un problema de contaminación.

Lo anterior, llevaría a la búsqueda de tecnologías que apoyen la obtención de flavonoides, para ser empleados en la fabricación de alimentos funcionales (Alburquerque et al., 2012). Una opción de llevar procesos de obtención más sustentables sería el uso de programas de energía, de este modo las tecnologías de digestión anaerobia, donde se sigue aumentando la participación de diversos mercados en el uso de energías renovables tiene un papel relevante, generando beneficios para la gestión de residuos, suministro de energía y el medio ambiente.

Se han realizado diversos estudios enfocados en la búsqueda de productos bioactivos, derivados de desechos agroindustriales donde se ha evidenciado la presencia de flavonoides en desechos agroindustriales (Llorach et al., 2003; Oskoueian et al., 2011). La industria agrícola produce millones de toneladas de residuos no comestibles derivadas de un cultivo, o de su procesamiento en particular, y se están desarrollando estrategias para utilizar residuos agrícolas e industriales como fuente de productos de alto valor agregado, garantizando procesos de producción sostenible, limpios, económicamente viables, ambientalmente racionales y socialmente beneficiosos (Santana-Méridas et al., 2012). Las aplicaciones de estos productos químicos se han dirigido a explotar sus propiedades antioxidantes y farmacológicas (Santana-Méridas, González-Coloma et al., 2012).

Cuadro 1. Clasificación de Tipos de Flavonoides y actividad terapéutica. (Martínez-Flórez *et al.*, 2002; Hackman *et al.*, 2008; Kwik-Urbe *et al.*, 2008; Miadoková, 2009; Vitale *et al.*, 2013; Ahn *et al.*, 2014; Kumar *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2014; Demirayak *et al.*, 2015; Ding *et al.*, 2015; Diaz-Tielas *et al.*, 2016; Kšzonžeková *et al.*, 2016; V. Jagtap, 2016; Xiao *et al.*, 2016; Brodowska, 2017; Liu *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017; Xiao, 2017; Ottaviani *et al.*, 2018; Vrba *et al.*, 2018).

Tipo de Flavonoide	Estructura	Actividad terapéutica	Ejemplo
Flavanoles		Estimula la circulación sanguínea de óxido nítrico. Mejora la sensibilidad a la insulina.	Catequina, Epicatequina, Galocatequina
Antocianidinas		Antiinflamatorio, antitumoral, antiobesidad, y neuroprotector, enfermedades cardiovasculares	Cianidina, Pelargonidina, Malvidina
Flavononas		Profilaxis contra artritis, aumenta la expresión de enzimas anioxidantes, anticarcinógeno, antimicrobiano, antihipertensivo, cardioprotector, hipolipemiante, neuroprotector	Hesperidina, Naringina
Flavonoles		Reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares	Quercetina, Kaempferol, Miricetina
Isoflavonas		Antioxidante, antimutagénico, anticarcinogénico, protege contra el estrés oxidativo generado en la inflamación, inmunomodulación, estrogénico	Genisteina, Daidzeína
Flavonas		Antiinflamatorio, antiestrogénico, antimicrobiano, antialérgico, antitumoral, citotóxico	Apigenina, Luteolina, Acacetina
Flavonoides glicosídicos		Actividad antioxidante, anticancer y antitumoral, hepatoprotector, antidiabético, antiinflamatorio, antiviral, antiplaquetario	Astragalina, Rutina, Vitexina, Orientina
Flavonolignanos		Hepatoprotector, citoprotector, antiproliferativo, quimoprotector	Silibinina, Isohydnicarpina, Silicristina
Auronas		Antioxidante, antibacteriano, antiplasmódico, antimalárico, antiviral, antiinflamatorio, antifúngico, quimioterápico	Leptosidina, Aureosidina
Leucoantocianidinas		Antioxidante	Teracacidina Leucopelargonidina
Neoflavonoides		Osteogénico, antiinflamatorio, antitumoral, antiandrógeno, antioxidante, antidiabético	Coutereagenina
Calconas		Anticancer, antifúngico, antihipertensivo, antimicrobiano, antiviral, antiinflamatorio	Derricina, Helianona A, Kukulcacina B

Formulación de alimentos funcionales suplementados con flavonoides

El éxito en la formulación de un alimento funcional depende de la preservación de ciertas características de los compuestos activos, tales como biodisponibilidad, bioactividad y estabilidad (Vieira da Silva et al., 2016), así como demostrar la eficacia de dichos alimentos de acuerdo con la FAO (Granato, Nunes et al., 2017). Para poder mantener la integridad de dichos compuestos activos se ha recurrido a diversas tecnologías, tales como la **Microencapsulación**, usada en productos diarios, barras energéticas, bebidas, aceites y pan, también en **Hidrogeles**, los cuales ayudan a estabilizar la textura de los alimentos usando proteínas alimentarias a través de su desnaturalización, además de la **Nanoencapsulación**, que se realiza a base de proteínas para incrementar la absorción intestinal evitando la degradación por enzimas de la flora; esta tecnología también se usa para adicionar flavonoides glicosilados (Faridi Esfanjani et al., 2016; Vieira da Silva, Barreira et al., 2016), y finalmente las **Emulsiones**, cuyo uso se ve limitado por los surfactantes. Esta última se ha usado en productos lácteos, aceites vegetales, mayonesa, jugos y helados (Vieira da Silva, Barreira et al., 2016), para incorporar flavonoides, por esta metodología, es importante considerar el coeficiente de partición, ya que estos tienen la capacidad de adsorberse en la interfase agua-aceite, principalmente los flavonoides glicosilados debido a sus propiedades anfífilas (Bordenave et al., 2014). De acuerdo a (Wani et al., 2016) la encapsulación y la formulación de emulsiones se han ocupado preferentemente en catequinas, flavonas y flavanonas para proteger dichos compuestos en el tracto gastrointestinal, de la degradación por oxidación o para mejorar su bioeficiencia dependiendo del material que se use, y el uso de liposomas en el caso de flavonoides glicosídicos como propuesta para mejorar la interacción de este tipo de flavonoides con la membrana lipídica (Goniotaki et al., 2004).

Entre la variedad de formulaciones como alimentos funcionales se encuentran los alimentos para bebé, pan, cereales, carnes y bebidas entre otras (Rosaria et al., 2014), cuya selección debe escogerse con base en las propiedades fisicoquímicas y biológicas del ingrediente bioactivo y características finales del producto deseado, considerando que la adición de ingredientes bioactivos pueden alterar el aspecto inicial del alimento (Augustin et al., 2015); en donde se ha determinado que la interacción a nivel de microestructura de una macromolécula con la molécula bioactiva da lugar a diferentes arreglos

que pueden alterar la percepción del alimento por el consumidor siendo necesario entender como lo asimilará el organismo, influyendo así en la tecnología a usarse para la incorporación de compuestos bioactivos (Norton et al., 2015).

Con base en lo descrito anteriormente respecto de los flavonoides, los alimentos funcionales y el entendimiento de cómo influye la estructura de los flavonoides en su actividad terapéutica y en algunas etapas del proceso ADME (Adsorción, Distribución, Metabolismo y Excreción) se podría lograr una formulación adecuada de alimentos funcionales que contengan flavonoides dirigidos a una función específica para la salud; donde los flavonoides glicosídicos podrían presentar un papel clave para la formulación de dichos alimentos, ya que pueden ayudar a mejorar el sabor y debido a la baja fijación a proteínas se podría maximizar la biodisponibilidad de los flavonoides considerando la forma en que son adsorbidos en el intestino delgado en forma directa o encapsulados en liposomas para facilitar su absorción, y así permitir que se ejerza su actividad terapéutica.

CONCLUSIONES

La elaboración y formulación de alimentos enriquecidos sigue siendo una vertiente relevante para el desarrollo de alimentos funcionales. Los flavonoides, son compuestos de origen natural, que pueden añadir un valor agregado a los alimentos, para lo cual se pueden emplear residuos agro-industriales como fuente de estos compuestos bajo procesos eco-sostenibles. Sin embargo, su uso se ha visto limitado debido a posibles interacciones que puedan tener con macromoléculas impidiendo su actividad terapéutica, para lo cual se requiere emplear diversas tecnologías para lograr su incorporación a alimentos, e incrementar su eficiencia terapéutica.

LITERATURA CITADA

- Ahn J. H., Kim S. B., Kim E. S., Kim S., Cho S.-H., Hwang B. Y., Lee M. K. 2014. A new flavolignan from *Nelumbo nucifera* leaves. *Chemistry of natural compounds*: 50, 998-1000
- Alburquerque J. A., de la Fuente C., Ferrer-Costa A., Carrasco L., Cegarra J., Abad M., Bernal M. P. 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues. *Biomass and Bioenergy*: 40, 181-189
- Augustin M. A., Sanguansri L. 2015. Challenges and solutions to incorporation of nutraceuticals in foods. *Annu Rev Food Sci Technol*: 6, 463-477
- Bordenave N., Hamaker B. R., Ferruzzi M. G. 2014. Nature and consequences of non-covalent interactions between flavonoids and macronutrients in foods. *Food Funct*: 5, 18-34.



- Brodowska K.M. 2017. Natural flavonoids: Classification, potential role, and application of flavonoid analogues. *European Journal of Biological Research*: 7, 108-123.
- Demirayak S., Yurttas L., undogdu-Karaburun N. G., Karaburun A. C., Kayagil I. 2015. Synthesis and anti-cancer activity evaluation of new aurone derivatives. *J Enzyme Inhib Med Chem*: 30, 816-825.
- Di Majo D., La Guardia M., Leto G., Crescimanno M., Flandina C., Giammanco M. 2014. Flavonols and flavan-3-ols as modulators of xanthine oxidase and manganese superoxide dismutase activity. *International journal of food sciences and nutrition*: 65, 886-892.
- Díaz-Tielas C., Graña E., Reigosa M. J., Sánchez-Moreiras A. M. 2016. Biological activities and novel applications of chalcones. *Planta Daninha*: 34, 607-616.
- Ding F., Peng W. 2015. Biological activity of natural flavonoids as impacted by protein flexibility: An example of flavanones. *Molecular BioSystems*: 11, 1119-1133.
- Faridi E.A., Jafari S.M. 2016. Biopolymer nano-particles and natural nano-carriers for nano-encapsulation of phenolic compounds. *Colloids Surf B Biointerfaces*: 146, 532-543.
- Goniotaki M., Hatziantoniou S., Dimas K., Wagner M., Demetzos C. 2004. Encapsulation of naturally occurring flavonoids into liposomes: Physicochemical properties and biological activity against human cancer cell lines. *J Pharm Pharmacol*: 56, 1217-1224.
- Gonzales G. B., Smaghe G., Grootaert C., Zotti M., Raes K., Camp J. V. 2015. Flavonoid interactions during digestion, absorption, distribution and metabolism: A sequential structure-activity/property relationship-based approach in the study of bioavailability and bioactivity. *Drug metabolism reviews*: 47, 175-190.
- Granato D., Nunes D. S., Barba F. J. 2017. An integrated strategy between food chemistry, biology, nutrition, pharmacology, and statistics in the development of functional foods: A proposal. *Trends in Food Science & Technology*: 62, 13-22.
- Hackman R. M., Polagruto J. A., Zhu Q. Y., Sun B., Fujii H., Keen C. L. 2008. Flavanols: Digestion, absorption and bioactivity. *Phytochemistry Reviews*: 7, 195.
- Isaza J. H. 2007. Taninos o polifenoles vegetales. *Scientia et Technica*: 1,
- Kšonžeková P., Mariychuk R., Eliašová A., Mudroňová D., Csank T., Király J., Marcinčáková D., Pisl J., Tkáčiková L. u. 2016. *In vitro* study of biological activities of anthocyanin rich berry extracts on porcine intestinal epithelial cells. *Journal of the Science of Food and Agriculture*: 96, 1093-1100.
- Kumar P., Kushwaha P., Khedgikar V., Gautam J., Choudhary D., Singh D., Trivedi R., Maurya R. 2014. Neoflavonoids as potential osteogenic agents from dalbergia sissoo heartwood. *Bioorganic & medicinal chemistry letters*: 24, 2664-2668.
- Kumar S., Pandey A. K. 2013. Chemistry and biological activities of flavonoids: An overview. *The Scientific World Journal*: 2013.
- Kwik-Urbe C., Bektash R. M. 2008. Cocoa flavanols - measurement, bioavailability and bioactivity. *Asia Pac J Clin Nutr*: 17 Suppl 1, 280-283.
- Liu R.-H., Lin S., Zhang P.-Z., Chen L.-Y., Huang H.-L., Mei D.-Y. 2017. [neoflavonoids and their pharmacological activities in dalbergia genus]. *Zhongguo Zhong yao za zhi = Zhongguo zhongyao zazhi = China journal of Chinese materia medica*: 42, 4707-4715.
- Llorach R., Gil-Izquierdo A., Ferreres F., Tomás-Barberán F. A. 2003. Hplc-dad-ms/ms esi characterization of unusual highly glycosylated acylated flavonoids from cauliflower (*Brassica oleracea* L. V ar. *Botrytis*) agroindustrial byproducts. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*: 51, 3895-3899.
- Martínez-Flórez S., González-Gallego J., Culebras J. M., Tuñón M. J. 2002. Los flavonoides: Propiedades y acciones antioxidantes. *Nutrición Hospitalaria*: 17, 271-278.
- Miadoková E. 2009. Isoflavonoids-an overview of their biological activities and potential health benefits. *Interdisciplinary toxicology*: 2, 211-218.
- Norton J. E., Gonzalez Espinosa Y., Watson R. L., Spyropoulos F., Norton I. T. 2015. Functional food microstructures for macronutrient release and delivery. *Food Funct*: 6, 663-678.
- Olmedilla-Alonso B., Jiménez-Colmenero F. 2014. Alimentos cárnicos funcionales: Desarrollo y evaluación de sus propiedades saludables. *Nutrición Hospitalaria*: 29, 1197-1209.
- Orlikova B., Tasdemir D., Golais F., Dicato M., Diederich M. 2011. Dietary chalcones with chemopreventive and chemotherapeutic potential. *Genes & nutrition*: 6, 125.
- Oskoueian E., Abdullah N., Hendra R., Karimi E. 2011. Bioactive compounds, antioxidant, xanthine oxidase inhibitory, tyrosinase inhibitory and anti-inflammatory activities of selected agro-industrial by-products. *International journal of molecular sciences*: 12, 8610-8625.
- Ottaviani J. I., Heiss C., Spencer J. P., Kelm M., Schroeter H. 2018. Recommending flavanols and procyanidins for cardiovascular health: Revisited. *Molecular aspects of medicine*.
- Peñarrieta J. M., Tejada L., Mollinedo P., Vila J. L., Bravo J. A. 2014. Phenolic compounds in food. *Revista Boliviana de Química*: 31, 68-81.
- Rosaria C. M., Antonio B., Leonardo P., Pio C. F., Milena S. 2014. Functional beverages: The emerging side of functional foods. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*: 13, 1192-1206.
- Russo M., Bonaccorsi I., Inferrera V., Dugo P., Mondello L. 2015. Underestimated sources of flavonoids, limonoids and dietary fiber: Availability in orange's by-products. *Journal of Functional Foods*: 12, 150-157.
- Santana-Méridas O., González-Coloma A., Sánchez-Vioque R. 2012. Agricultural residues as a source of bioactive natural products. *Phytochemistry Reviews*: 11, 447-466.
- Singh P., Anand A., Kumar V. 2014. Recent developments in biological activities of chalcones: A mini review. *European journal of medicinal chemistry*: 85, 758-777.
- Jagtap V., S. 2016. Synthesis and biological activities of aurones: A review. 137-155 pp.
- Vieira da Silva B., Barreira J. C. M., Oliveira M. B. P. P. 2016. Natural phytochemicals and probiotics as bioactive ingredients for functional foods: Extraction, biochemistry and protected-delivery technologies. *Trends in Food Science & Technology*: 50, 144-158.
- Vitale D. C., Piazza C., Melilli B., Drago F., Salomone S. 2013. Isoflavones: Estrogenic activity, biological effect and bioavailability. *European journal of drug metabolism and pharmacokinetics*: 38, 15-25.

- Vrba J., Papoušková B., Roubalová L., Zatloukalová M., Biedermann D., Křen V., Valentová K., Ulrichová J., Vacek J. 2018. Metabolism of flavonolignans in human hepatocytes. *Journal of pharmaceutical and biomedical analysis*: 152, 94-101.
- Wang B., Li N., Liu T., Sun J., Wang X. 2017. Synthesis and biological evaluation of novel neoflavonoid derivatives as potential antidiabetic agents. *RSC Advances*: 7, 34448-34460.
- Wani T. A., Shah A. G., Wani S. M., Wani I. A., Masoodi F. A., Nissar N., Shagoo M. A. 2016. Suitability of different food grade materials for the encapsulation of some functional foods well reported for their advantages and susceptibility. *Crit Rev Food Sci Nutr*: 56, 2431-2454.
- Xiao J. 2017. Dietary flavonoid aglycones and their glycosides: Which show better biological significance? *Crit Rev Food Sci Nutr*: 57, 1874-1905.
- Xiao J., Capanoglu E., Jassbi A. R., Miron A. 2016. Advance on the flavonoid c-glycosides and health benefits. *Crit Rev Food Sci Nutr*: 56 Suppl 1, S29-45.
- Yao L. H., Jiang Y., Shi J., Tomas-Barberan F., Datta N., Singanusong R., Chen S.. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. *Plant foods for human nutrition*: 59, 113-122.



GERMINATION OF PEANUT SEEDS (*Arachis hypogaea* L.) WITH DIFFERENT DOSES OF GIBBERELLIN

GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE CACAHUATE (*Arachis hypogaea* L.) UTILIZANDO DIFERENTES DOSIS DE GIBERELINA

Bautista-Díaz, J.¹; García-Muñoz, S.A.^{1*}; Leyva-Chávez, A.N.¹; Piña-Ramírez, F.J.¹;
Ojeda-Barrios, D.L.¹; Ortega-Rodríguez, A.¹

¹Universidad Autónoma de Chihuahua, Facultad de Ciencias Agrotecnológicas, Chihuahua, México.

*Autor de correspondencia: silviagm@yahoo.com

ABSTRACT

Objective: Evaluate the germination of peanut (*Arachis hypogaea* L.) by using different doses of gibberellic acid (GA3).

Design/methodology/approach: A completely random design was used. Three treatments with 20 repetitions were used. Treatment 1: 0.05 g L⁻¹ of gibberellic acid (GA3), Treatment 2: 0.10 g L⁻¹ of gibberellic acid (GA3), Treatment 3: 0.15 g L⁻¹ of gibberellic acid (GA3) and Treatment 0: Witness. Peanut seeds of the Virginia variety were used. The parameters to be evaluated were seedling height, number of leaves, root measure and biomass. The means were compared by the Tukey test at a level of 5% confidence.

Results: The treatments indicated that Treatment 0 (Witness) obtained a percentage of germination of 85%, being higher than treatment 3 (0.15 L⁻¹ of GA3) with 75% germination, however, treatment 1 (0.05 L⁻¹ of GA3) and 2 (0.10 L⁻¹ of GA3) presented a better response when obtaining 95% of germination each.

Study limitations/implications: Treatment 3 causes negative effects on the germination of the plant.

Findings/conclusions: It is necessary to follow up the research for a better control of the environment and to increase the doses of GA3, as well as to increase the speed of germination by applying 0.15 L⁻¹ of GA3.

Keywords: gibberellic acid, Virginia, seedling, leaves, biomass.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la germinación de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) mediante el uso de diferentes dosis de ácido giberélico (GA3).

Diseño/metodología/aproximación: Se empleó un diseño completamente al azar. Se utilizaron tres tratamientos con 20 repeticiones. Tratamiento 1: 0.05 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA3), Tratamiento 2: 0.10 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA3), Tratamiento 3: 0.15 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA3) y Tratamiento 0: Testigo. Se utilizaron semillas de cacahuete de la variedad Virginia. Los parámetros a evaluar fueron, la altura de plántula, número de hojas, medida de raíz y biomasa. Las medias fueron comparadas por la prueba de Tukey a un nivel del 5% de confianza.

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 129-134.

Recibido: junio, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.



Resultados: Los tratamientos indicaron que el Tratamiento 0 (Testigo) obtuvo un porcentaje de germinación de 85%, siendo mayor que el tratamiento 3 (0.15 g L⁻¹ de GA3) con un 75% de germinación, sin embargo, el tratamiento 1 (0.05 g L⁻¹ de GA3) y 2 (0.10 g L⁻¹ de GA3) presentaron una mejor respuesta al obtener un 95% de germinación cada uno.

Limitaciones del estudio/implicaciones: El tratamiento tres causó efectos negativos en la germinación de la planta.

Hallazgos/conclusiones: Es necesario dar seguimiento a la investigación para un mejor control del ambiente y ampliar las dosis de GA3, así como aumentar la velocidad de germinación aplicando 0.15 g L⁻¹ de GA3.

Palabras clave: ácido giberélico, Virginia, plántula, hojas, biomasa.

el sustrato (PeatMoss) en botes de 20 L, se disolvió el Ácido Giberélico correspondiente para cada tratamiento en cuatro litros de agua para posteriormente humedecer el sustrato con el Ácido Giberélico disuelto en agua y favorecer a que el sustrato quedara completamente humedecido; después se llenaron 20 vasos de poliestireno de 10 Oz para cada tratamiento con el sustrato previamente humedecido, reincorporando a cada vaso el sobrante de la solución después de sembrar.

Variables

Altura de plántula: se utilizó una regla de 30 cm y colocó en la zona del cuello de la plántula tomando como medida la parte más alta de la plántula, registrando cada 3 d desde el momento de germinación de cada plántula.

Numero de hojas: Se registró el número de hojas cada 7 d, a partir de la germinación de las plantas.

Medida de raíz: Al término del experimento se procedió a extraer las plántulas de cacahuete del sustrato quitando y lavando cuidadosamente la zona de raíces de cada plántula para obtener la radícula intacta y proceder a medirla desde la zona del cuello hasta el meristemo apical de la raíz primaria.

Biomasa: se utilizó una balanza analítica para obtener el peso por separado de la zona radicular y la parte aérea de cada planta al momento de extraerla del sustrato (peso fresco) para después colocarlas en una estufa de secado a 70 °C y posteriormente continuar tomando el peso de cada planta cada 3 d, hasta obtener el peso seco neto.

INTRODUCCIÓN

El cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) (Fabaceae), es originario de América, y fueron los portugueses los que en el siglo XVI llevaron la planta a Europa, donde al principio fue cultivado en cantidades limitadas en plantaciones reducidas de carácter familiar y sus frutos se destinaron a la extracción de aceite. Fue hasta finales del siglo XIX cuando en Francia se cultivó y posteriormente en E.U. se hizo en gran escala (Sistema Producto Cacahuete, 2008). La distribución y ocurrencia natural del género *Arachis* L., está confinado en aquella área de Sudamérica limitada por el río Amazonas en el norte, el río de la Plata en el Sur, por el Océano Atlántico en el este y por las faldas de los Andes en el oeste, aunque la distribución del género puede llegar a ser amplia. La mayor diversidad ocurre en la región de Matto Grosso, Brasil. Esta región se considera como el centro de origen del género (Sanchez, 1992). Se desarrolló el presente estudio con el propósito de evaluar la germinación de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.) mediante el uso de diferentes dosis de ácido giberélico (GA3).

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se llevó a cabo en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas campus Chihuahua, Chihuahua (700 m² y equipado con cuatro extractores funcionales, una pared húmeda, estructura para tutorado y con una cubierta de policarbonato, además se adaptó una estructura de tubos de PVC de 85 cm de largo por 80 cm de ancho y 40 cm de altura cubierta por una malla de alambre como protección de las semillas ante la exposición a roedores. Se utilizaron tres tratamientos con diferentes concentraciones de ácido giberélico (GA3) y 20 repeticiones cada tratamiento: Tratamiento 1: 0.05 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA3); Tratamiento 2: 0.10 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA3); Tratamiento 3: 0.15 g L⁻¹ de ácido giberélico (GA3); Tratamiento 0: Testigo.

Se utilizaron semillas de cacahuete de la variedad Virginia, la cual es ampliamente utilizada por los productores de cacahuete tanto a nivel estatal como nacional al ser una variedad preferente por sus semillas grandes. Para aplicar el Ácido giberélico (GA3) para cada tratamiento; Se colocó

Diseño experimental: se establecieron cinco tratamientos con veinte repeticiones establecidos completamente al azar. La comparación de medias se realizó mediante la prueba de Tuckey, el análisis estadístico se realizó con el programa The SAS System for Windows 9.0. A excepción de la longitud de la raíz y porcentaje de germinación, los cuales fueron evaluados y obtenidos con el programa Microsoft Excel 2010

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según el resultado obtenido de la investigación realizada por Martínez-Díaz (2004) quien implemento diferentes concentraciones de Ácido Giberélico para la germinación de nueces,

los tratamientos indicaron una ausencia de respuesta al GA3, ya que el porcentaje de germinación fue mayor en el tratamiento testigo que en los tratamientos con GA3, además de que el Ácido giberélico retardo la apertura del ruezno, ya que las primeras nueces tratadas con GA3 se encontraron con el ruezno separado de la cascara 14 d después que el testigo, similar a los datos obtenidos en esta investigación donde el Tratamiento 0 (Testigo) obtuvo un porcentaje de germinación de 85%, siendo mayor que el tratamiento 3 (0.15 g L⁻¹ de GA3) con un 75% de germinación; sin embargo, el tratamiento 1 (0.05 g L⁻¹ de GA3) y 2 (0.10 g L⁻¹ de GA3) presentaron una mejor respuesta al obtener un 95% de germinación cada uno (Figura 1; Cuadro 1).

La velocidad de germinación fue mayor en el Tratamiento 3 (0.15 g L⁻¹ de GA3) con una media de 9.15 d, después de siembra, después le continua el tratamiento 0 (Testigo) con una media de 9.5 días de germinación después de siembra a diferencia del tratamiento 1 (0.05 g L⁻¹ de GA3) y 2 (0.10 g L⁻¹ de GA3) con una media de 14.15 d, después de siembra (Figura 2; Cuadro 1) mismo resultado que coincide con la investigación de Martínez Díaz (2011) donde fue incrementando las dosis aplicadas y obtuvo como resultado que las aplicaciones de ácido

giberélico pueden aumentar la germinación prematura de la nuez.

En una investigación realizada por González et al. (2007) para evaluar el efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de coliflor (*Brassica oleraceae* L.) utilizó diversas concentraciones de 0, 5, 25 y 125 mg

L⁻¹ de GA3 las cuales no obtuvieron resultados significativos en la biomasa de las plantas de coliflor por lo tanto todos los tratamientos utilizados respondieron de igual manera al GA3, así mismo, los resultados obtenidos en esta investigación no mostraron diferencias significativas en la biomasa

de tallo y raíz de ningún tratamiento, a pesar de que el tratamiento 1 (0.05 g L⁻¹ de GA3) haya obtenido una media mayor respecto a los demás tratamientos (Figura 3; Cuadro 1).

González et al. (2007) obtuvo un resultado estadísticamente no significativo en la altura de las plantas de coliflor entre sus tratamientos, incluyendo el testigo, resultados que son similares a los obtenidos en la presente investigación donde no se mostraron diferencias significativas a pesar de que el Tratamiento 1 obtuvo un ligero incremento en la altura de planta respecto a los demás

tratamientos, siendo el tratamiento 3 el que presentó menor desarrollo de la planta con respecto a la altura (Figura 5 y 6; Cuadro 1).

Un resultado similar se observó en cuanto a la cantidad de hojas, donde el tratamiento 1 obtuvo

mayor número de hojas; sin embargo, estadísticamente no se encontró diferencia significativa, por lo que todos los tratamientos mostraron una tendencia semejante (Figura 4; Cuadro 1).

Cabe mencionar que el día 12 de mayo se aplicó una solución de Jabón biodegradable al 10% debido a la presencia de plagas que estaban dañando las plantas, como

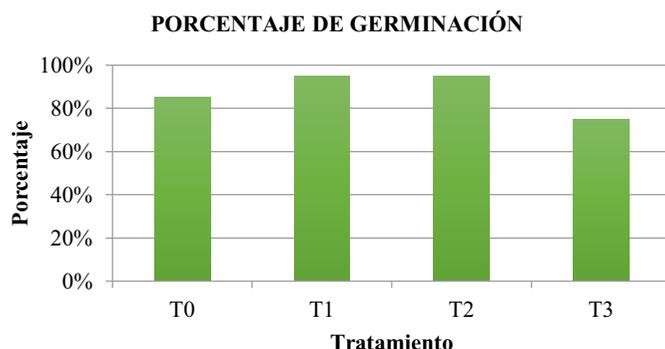


Figura 1. Porcentaje de germinación por tratamiento.

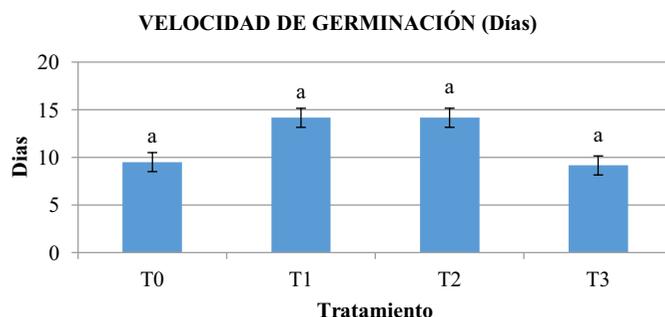


Figura 2. Velocidad de germinación (Días después de siembra).

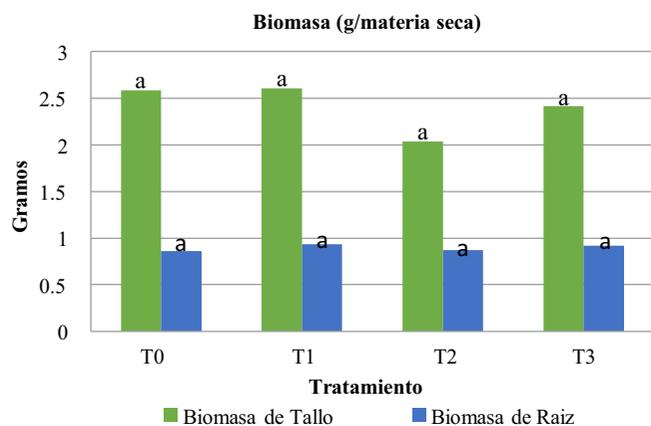


Figura 3. Biomasa (gr/MS) de tallo y raíz por tratamiento.

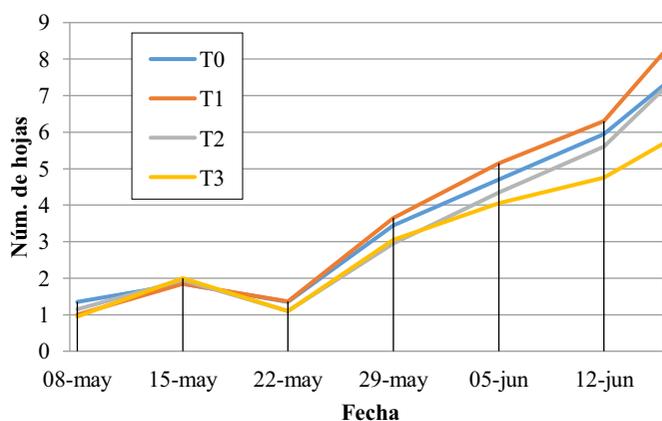


Figura 4. Desarrollo de hojas por tratamiento.

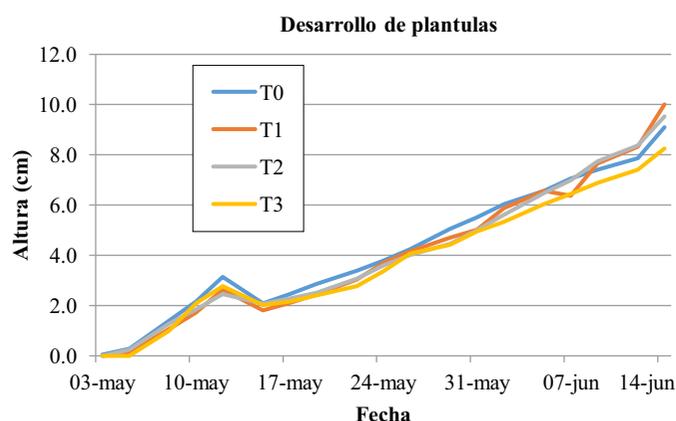


Figura 5. Promedio de desarrollo de la altura de plántulas en el tiempo.

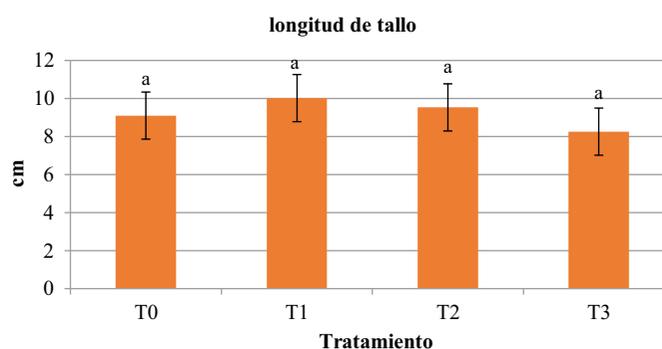


Figura 6. Media de longitud de tallo por tratamiento.

consecuencia en las lecturas tomadas posteriormente se mostró un decremento en la altura de las plantas, así como una disminución en el número de hojas, debido al estrés causado por el jabón (Figura 4 y 5).

En cuanto al desarrollo radicular a pesar de no mostrar diferencias significativas el Tratamiento 1 (0.05 g L⁻¹ de GA3) obtuvo mejor resultado respecto a los demás tratamientos con una media de 9.75 cm, seguido del Tratamiento 3 (0.15 g L⁻¹ de GA3) con 9.5 cm; luego el Tratamiento 2 (0.10 g L⁻¹ de GA3) con 8.34 cm y por último el Testigo con una media de 7.97 cm, en este caso todos los tratamientos con Ácido Giberélico obtuvieron mejores resultados que el Testigo (Figura 7), este efecto se relaciona con las propie-

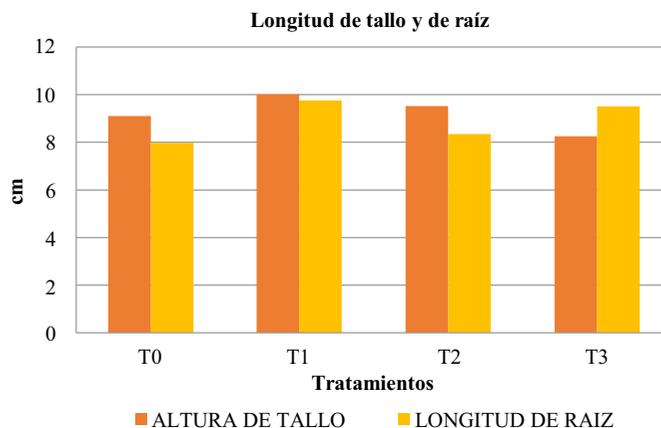


Figura 7. Comparación de longitud de tallo y de raíz.

dades del Ácido Giberélico que menciona Agrios (2004) el cual dice que una de las principales características de las giberelinas es que promueven la elongación celular del tallo y la raíz.

CONCLUSIONES

Es necesario dar seguimiento al estudio de la efectividad del ácido giberélico sobre la germinación de cacahuete.

Es recomendable que para investigaciones posteriores se amplié las cantidades de dosis de ácido giberélico para obtener un panorama más amplio de los efectos que tiene el GA3 sobre la germinación de cacahuete, ya que existen indicios de que las giberelinas funcionan bien en la germinación de semillas. Se recomienda que si se desea disminuir los días de germinación después de siembra en semillas de

Cuadro 3. Comparación de medias estadísticas.

T	Altura (cm)	Velocidad de germinación (días)	Núm. de hojas	Biomasa seca de tallo (g)	Biomasa seca de raíz (g)
T0	9.100±1.24 a	9.50±1.70 a	7.30±1.14 a	2.581±0.242 a	0.861±0.093 a
T1	10.020±1.24 a	14.15±1.70 a	8.20±1.14 a	2.603±0.226 a	0.932±0.087 a
T2	9.530±1.24 a	14.15±1.70 a	7.20±1.14 a	2.033±0.207 a	0.869±0.080 a
T3	8.255±1.24 a	9.15±1.70 a	5.7±1.143 a	2.413±0.242 a	0.920±0.093 a
R2	0.014	0.09587	0.03139	0.0703	0.008
CV	60.261	64.8447	72.013	37.998	39.007

¹Medias con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey α 0.05); R² R-cuadrado; CV Coeficiente de Variación; \pm = Índice de error estándar; T=Tratamiento; gr/MS=Gramos de Materia Seca.

cacahuete se aplique una dosis de 0.15 g L⁻¹ de GA3 puesto que esta dosis brinda la capacidad de germinación en un menor número de días. Para obtener un mayor porcentaje de germinación, mayor desarrollo foliar, mayor biomasa de tallo, y una mayor longitud de tallo y raíz es recomendable aplicar dosis de 0.05 g L⁻¹ de GA3 pues esta cantidad obtuvo resultados favorables en la investigación realizada.

LITERATURA CITADA

- Agrios G. N. 2004. Plant Pathology. California: Elsevier. pp. 81-86.
- Alizaga R., Guevara E., Herrera J. 1992. Efecto de algunos tratamientos químicos sobre el periodo de reposo del Maní (*Arachis hypogaea*). Costa Rica: Agronomía Costarricense. pp. 29-36.
- Alvarado M. 2002. Producción de sustratos para Viveros. Costa Rica: OIRSA. pp. 29-36.
- Angulo M. 2008. Aplicación de *Bacillus subtilis* en cultivos de cacahuete para la prevención de la contaminación con aflatoxinas. México: CIAD. pp. 2-2
- Augstburger F., Beger J., Censkowsky U., Heid P., Milz J., Streit C. 2000. Maní (Cacahuete). Alemania: Naturland. pp. 7-8.
- Augusto C. 2010. Taxonomía y Botánica de los cultivos de grano. Honduras: Universidad Nacional Autónoma de Honduras. pp. 23-26.
- Bustamante M. 2001. El cultivo del Maní. Honduras: Escuela Agrícola Panamericana. pp. 4-8.
- Cilliers A. 2011. Groundnut Production. South Africa: Grain Crops Institute. pp. 3-4.
- Cordes G., Rodríguez A., Vigilano M., Ovando C. 2010. Evaluación de calidad de semilla de maní (*Arachis hypogaea* L.) Con la utilización de diferentes productos como curasemilla. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba. pp. 1-2.
- Díaz F. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. Guanajuato: Universidad de Guanajuato. pp. 45-46.
- Dirección General de Investigación y Extensión Agrícolas. 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. Costa Rica: La Dirección. pp. 125-127.
- Duran A., López V. O., Becerra E., Esqueda V. A., Joaquín I. C., Cumpián J. 2011. Manual de producción del cultivo de cacahuete *Arachis hypogaea* L. en el estado de Veracruz. Veracruz: SAGARPA. pp. 41-58.
- Espinosa P., Espinosa L. M. 2010. Hidroponía rústica. México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. pp. 2-3.
- Gillier P., Silvestri P. 1970. El Cacahuete o Maní. España: Blume. pp. 27-30.
- González M., Caycedo C., Velásquez M., Flóres V., Garzón R. 2007. Efecto de la aplicación del ácido giberélico sobre el crecimiento de coliflor (*Brassica oleraceae* L.) var. *Botrytis* DC. Agronomía Colombiana, 25(1), pp. 54-61.
- INIFAP. 2002. Guía para producir cacahuete de temporal en Guerrero. México: SAGARPA. pp. 4-19.
- INIFAP. 2002. Producción del cultivo de cacahuete en el estado de Morelos. México: SAGARPA. pp.12-13
- Jordán M., Casaretto J. 2006. Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas. Chile: Universidad de La Serena. pp. 2-20.
- Leon J. 1968. Fundamentos Botánicos de los cultivos tropicales. Perú: IICA. pp. 321-322.
- Maher M., Prasad M., Raviv M. 2008. Organic Soilless Media Components. In Soilless Culture: Theory and Practice. United States of America: Elsevier. pp. 96-97.
- Mandujano M., Golubov J., Rojas-Aréchiga M. 2007. Efecto del ácido giberélico en la germinación de tres especies del género *Opuntia* (Cactaceae) del Desierto Chihuahuense. México: Universidad Nacional Autónoma de México. pp. 47-48.
- Martínez-Díaz G. 2011. El ácido giberélico incrementa la germinación prematura en el nogal pecanero (*Carya illinoensis* Koch.). Tecnociencia, pp. 148-155.
- Mateo J. M. 2005. Prontuario de agricultura: Cultivos agrícolas. Madrid: Mundi-Prensa. pp. 301-309.
- Mérola R., Díaz S. 2012. Métodos, técnicas y tratamientos para inhibir dormancia en semillas de plantas forrajeras. Uruguay: Universidad de la Empresa. pp. 17-22.
- Monroy M. 2012. El cultivo del cacahuete (*Arachis Hypogaea* L.). TecnoAgro, pp. 50-59.
- Nadal S., Moreno M. T., Cubero J. I. 2004. Las leguminosas grano en la agricultura moderna. Sevilla: Mundi-Prensa. pp. 215-240.
- Napoleón J.C. 2005. Guía Técnica de semilleros y viveros frutales. El Salvador: Ministerio de Agricultura y Ganadería pp. 11-15.
- Oliveros M. 2013. Respuestas Morfogénicas *in vitro* y diversidad genética en cuatro razas de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). México: Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 5-7.
- Picón R. 2013. Evaluación de sustratos alternativos para producción de Pilonos del cultivo de tomate *Lycopersicon esculentum*

- Mill. En los municipios de Esquipulas y Chiquimula. Guatemala: Universidad de San Carlos. pp. 8-9.
- Pineda J. 2010. Caracterización del aserrín de pino como sustrato hidropónico durante cinco ciclos de cultivo con jitomate. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo. pp. 27-30.
- Robles S. R. 1985. Producción de oleaginosas y textiles. México: Limusa. pp. 10-12.
- Rodríguez L. 1996. Mejoramiento genético, selección y manejo de fuentes semilleras y de semillas forestales. Costa Rica: CATIE. pp.76-80.
- Rojas-Garcidueñas M., Rovalo M. 1985. Fisiología Vegetal Aplicada. México: Mc Graw Hill. pp. 112-113.
- Ruiz-Sánchez E., Canul-Díaz M., Pacheco-Aguirre J., Pérez-Gutiérrez A., Reyes-Ramirez A., Ballina-Gómez H. 2015. Efecto de tratamientos pre germinativos e inoculación microbiana en cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, pp. 1177-1187.
- SAGARPA. 2008. PLAN RECTOR DEL SISTEMA PRODUCTO CACAHUATE. San Luis Potosí: Sistema Producto Cacahuete. pp. 88-90.
- Samperio G. 2005. Germinación de semillas: Manual de divulgación para uso en instituciones de educación. México: Asociación Hidropónica Mexicana A.C. pp. 9-10.
- Sanchez D. S. 1992. Taxonomía, origen y dispersión del cacahuete *Arachis hypogaea* L. México: Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 171-172.
- Sánchez-Domínguez S., Muñoz-Orozco A., González-Hernández V. A., Martínez-Garza, A. 2005. Caracterización y clasificación de germoplasma mexicano de cacahuete (*Arachis hypogaea* L.). México: Universidad Autónoma Chapingo.
- SIAP. 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. México: SAGARPA. pp. 10-11.
- Sistema Producto Cacahuete. 2008. Plan rector del sistema producto cacahuete. San Luis Potosí: SAGARPA. pp. 88-90.



THE SUPPLY OF PECTIN IN BOVINES AND ITS EFFECT ON BLOOD CHOLESTEROL AND FAT EXCRETION

EL SUMINISTRO DE PECTINA EN BOVINOS Y SU EFECTO EN EL COLESTEROL HEMATICO Y EXCRECION DE GRASA

Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Guerrero-Legarreta, I.²; Reséndiz-Cruz, V.²; Ramírez-Bribiesca, J.E.³

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Departamento de Ciencias de la Alimentación. División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México. ²Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa; Av. San Rafael Atlixco N° 186, Col. Vicentina C.P. 09340, Iztapalapa, México D.F. ³Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo Km. 36.5, México 136 5, Montecillo, 56230 Montecillo, Méx., México.

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

ABSTRACT

Objective: Evaluating the effect of pectin supplement in the diet on the concentration of blood cholesterol and the excretion of total fat in feces of bovines.

Design/methodology/approach: Four Holstein calves were used with cannulas in the rumen and duodenum, and low (0.004%), medium (0.02%) and high (0.01%) pectin doses were infused by duodenal route.

Results: The blood cholesterol concentration decreased 15.6, 18 and 27% when the pectin doses were increased. Total fat excretion was higher with all doses of pectin (0.3 (control) vs. 1.9, 1.3, 1.7, $P < 0.0001$).

Study limitations / implications: There is interest in evaluating the supply of pectin in bovines, with the purpose of reducing the concentration of circulating cholesterol and improving the quality of lactic and meat products intended for consumers.

Findings/Conclusions: The pectin dosages decreased the blood cholesterol and the absorption of total fat in feces.

Keywords: Calves, cholesterol, blood, feces.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar el efecto del suplemento de pectina en la dieta de bovinos, sobre la concentración de colesterol en sangre y la excreción de grasa total en heces fecales.

Diseño/metodología/aproximación: Se utilizaron cuatro becerros Holstein con cánulas en rumen y duodeno y se infundió por vía duodenal las dosis de pectina baja (0.004%); media (0.02%) y alta (0.01%).

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 11, noviembre. 2018. pp: 135-137.

Recibido: septiembre, 2018. **Aceptado:** octubre, 2018.



Resultados: La concentración de colesterol sanguíneo decreció 15.6, 18 y 27% cuando las dosis de pectina se incrementaron. La excreción de grasa total fue mayor con todas las dosis de pectina (0.3 (testigo) en comparación a 1.9, 1.3, 1.7; $P < 0.0001$).

Limitaciones del estudio/implicaciones: Hay interés de evaluar el suministro de pectina en bovinos, con el propósito de disminuir la concentración de colesterol circulante y mejorar la calidad de los productos lácticos y cárnicos destinados a los consumidores

Hallazgos/conclusiones: Las dosificaciones de pectina disminuyeron el colesterol hemático y la absorción de grasa total en heces.

Palabras clave: Becerras, colesterol, sangre, heces

INTRODUCCIÓN

Debido a la alta incidencia de las enfermedades cardiovasculares en México, el contenido de lípidos de los alimentos es un factor de importancia para médicos, nutricionistas y consumidores. Es por ello la preocupación en este estudio de reducir los niveles de colesterol y evitar la menor absorción de grasa en el organismo de los bovinos con el objetivo que repercuta favorablemente en la carne. La administración de pectina comercial no se ha dado a las dietas de los bovinos, ya que no está protegida y se degrada fácilmente por los microorganismos del rumen. La eficacia de la pectina para disminuir la concentración de colesterol en sangre se debe a la presencia de sustituyentes metoxilo lo que produce un gel viscoso (Ershoff, 1962). Otros autores concluyen que el aumento de viscosidad en el intestino delgado, debido a la presencia de pectina, reduce la hipocolesterolemia (Kay, 1977), lo que ocurre al unirse a los ácidos biliares y facilitar su expulsión junto con las heces, y contribuye a la disminución del riesgo de aparición de diferentes enfermedades cardiovasculares (Jackson, 2007). Lin (1957) encontró que el suministro de pectina a ratas aumenta la excreción fecal de lípidos, colesterol y ácidos biliares. El objetivo del presente estudio fue estudiar el efecto del suplemento de pectina en la dieta sobre la concentración de colesterol en sangre y la excreción de grasa total en heces.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron cuatro novillos Holstein con un peso promedio de 462.5 kg, canulados en rumen y duodeno y alojados en corraletas individuales de 2.42x3.74 m del Colegio de Postgraduados, Montecillo Edo de México. El alimento se suministró dos veces al día (7:00 y 19:00 h), con un consumo aproximado total por día de 9.6 kg (MS). La dosis de óxido de cromo como marcador para medir la digesta se calculó en 0.4%, dividiéndose en dos partes y suministrarse en cada hora de comida, directamente en la cánula ruminal. Los cuatro becerros Holstein consumieron una dieta basal de heno de alfalfa (*Medicago sativa* L.) y el procedimiento experimental consistió en la aplicación de los siguientes tratamientos: 1. Dieta basal + cromo, 2. Dieta basal + cromo + pectina en dosis baja (0.004%), 3. Dieta basal + cromo + pectina en dosis media (0.01%), 4. Dieta basal + cromo + pectina en dosis alta (0.02%). Cada periodo consistió en 10 d, de adaptación y cinco de muestreo. Los porcentajes de pectina se calcularon con base en el peso vivo del animal y los

tratamientos fueron suministrados durante el periodo de adaptación y muestreo. La pectina se introdujo al duodeno vía cánula. Se extrajo de la cánula 400 mL de líquido ruminal en cada animal a las 3 h después de suministrar el alimento en el último día de cada periodo experimental. La recolección de muestras fecales y duodenales se llevó a cabo cada 1.5 h postprandial durante 4 d. Se tomaron muestras de sangre antes del periodo experimental y en el día cinco de cada periodo. Cada muestra consistió en 10 mL, extraída de la vena coccígea por punción con agujas y tubos Vacutainer; los tubos contenían ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como conservador. Las muestras fueron almacenadas en una hielera, a 4 °C y se transportaron inmediatamente al laboratorio. La extracción de grasas se realizó con un equipo Goldfish (Labconco, Nueva York, Estados Unidos), según la técnica reportada por AOAC (1990). El análisis de colesterol se llevó a cabo en la unidad Iztapalapa-UAM, utilizando un equipo Varian (Australia) equipado con estación de bombeo (Varian Pro Star) y controlado por un software Galaxia; precolumna y columna Symmetry de fase reversa (C18) de 15 cm de longitud, 3.9 mm de diámetro interno y 5 μ m de tamaño de partícula que opera bajo condiciones isocráticas. El diseño experimental fue un Cuadro Latino 4x4; es decir 4 novillos y 4 tratamientos (testigo, 0.004, 0.01 y 0.02% de pectina) analizándose los datos con el paquete estadístico SPSS ver. 21.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos del flujo de nutrientes del alimento consumido a las heces (flujo total). La materia seca, materia orgánica, proteína y FDN no mostraron diferencias entre los tratamien-

tos ($P > 0.05$). La excreción de grasa total fue mayor con las diferentes dosis de pectina administrada (Cuadro 1). La digestión de nutrientes y la absorción de pigmentos de la ingesta del alimento a heces (digestibilidad total), no se presentaron diferencias en la materia seca, materia orgánica, proteína y FDN.

Sin embargo, es de notarse que el porcentaje de la digestión total de las grasas disminuyó ($P < 0.05$) con la infusión de pectina, aún en la menor dosis administradas directamente en el duodeno; las posibles razones pueden ser que la cantidad mayor de pectina infundida recubre la mayor parte del quimo alimenticio y dificulte la acción de los jugos gástricos, jugos biliares y pancreáticos que facilitan los procesos de absorción. Otra causa podría deberse a que la pectina se adhiera momentáneamente a epitelio vellositario y evite la absorción de las grasas. La concentración de colesterol disminuyó al aumentar el porcentaje de pectina incluida en los tratamientos ($P < 0.0001$, $r = -0.92$).

El mecanismo por el cual la suplementación de pectina produce hipocolesteronemia no ha sido aclarado, aunque se sugiere que la pectina produzca un bloqueo en la absorción del colesterol o una disminución de la circulación entero-hepática, en ambos casos se interfiere con la absorción de ácidos biliares. Estos posibles mecanismos han sido estudiados en suero e hígado de ratas (Leveille y Sauberlich, 1988), en pollos (Erdman y col., 1986) y en humanos (Jenkins y col., 1975; Rock y Swendseid, 1992). Los resultados obtenidos en ratas indican que los niveles bajos de pectina en plasma e hígado son debidos a la inhibición en la absorción de los ácidos biliares y éstos a la vez reducen la absorción del colesterol (Rock y Swendseid, 1992).

CONCLUSIÓN

Hasta donde es de conocimiento, no se ha reportado previamente el efecto de la infusión de pectina en la reducción de colesterol hemático y excreción de grasa total en heces de bovinos. En

Cuadro 1. Digestibilidad de la grasa y cantidad de colesterol total en sangre en novillos Holstein dosificados con diferentes concentraciones de pectina vía duodeno.

Dosis de pectina infundida (%)	0	0.004	0.01	0.02	EEM
Colesterol hemático mg mL ⁻¹	1.67 ^a	1.41 ^b	1.37 ^b	1.21 ^c	0.013
Excreción de grasa (%)	0.3 ^a	1.9 ^b	1.3 ^b	1.7 ^b	0.004

^{a,b,c} Medias con superíndices diferentes en el mismo renglón difieren ($P < 0.05$). EEM - Error estándar de la media.

este estudio se demostró que, en animales canulados, la pectina agregada en el duodeno captura grasas y disminuye el colesterol, posiblemente debido a un atrapamiento físico en el gel de pectina de alto metoxilo formado, aunque es posible que se produzcan interacciones hidrofóbicas entre la pectina y los lípidos. Este posible secuestro de grasas evita la absorción en el intestino y en consecuencia su posible acumulación en el organismo del animal, obteniendo mejor calidad de la carne para beneficio del consumidor. En futuros estudios se espera suministrar pectina en forma encapsulada, que evite su degradación por el efecto microbiano.

LITERATURA CITADA

- Erdman W.J., Fahey C.G., Broich W.C. 1986. Effects of purified dietary fiber sources on β -carotene utilization by the chick. *Journal of Nutrition* 116:2415-2423.
- Ershoff B.H., Wells A.F. 1962. Effects of methoxyl content on anti-cholesterol activity of pectic substances in the rat. *Experimental Medical Surgery* 20:272-276.
- Jackson C.L., Dreaden T.M., Theobald N.M. 2007. Pectin induces apoptosis in human prostate cancer cells: correlation of apoptotic function with pectin structure. *Glycobiology* 17:805-819.
- Jenkins D.J.A., Leeds A.R., Newton C., Cummings J.H. 1975. Effect of pectin, guar gum and wheat fibre on serum cholesterol. *The Lancet* 305:1116-1129.
- Kay R.M., Truswell A.S. 1977. Effect of citrus pectin on blood lipids and fecal steroid excretion in man. *American Journal of Clinical Nutrition* 30:171-175.
- Leveille G.A., Sauberlich E. 1988. Mechanism of the cholesterol-depressing effect of pectin in the cholesterol-fed rat. *Journal of Nutrition* 88:209-214.
- Lin T.M., Kim K.S., Karvinen E., Ivy A.C. 1957. Effect of dietary pectin, 'protopectin' and gum arabic on cholesterol excretion in rats. *American Journal of Physiology* 188:66-78.
- Rock C.L., Swendseid M.E. 1992. Plasma β -carotene response in humans after meals supplemented with dietary pectin. *American Journal of Clinical Nutrition* 55:96-99.

INSTITUTIONAL CAPACITY IN SANITARY POLICY OF THE NATIONAL SLAUGHTERHOUSE PROGRAM: CASE OF TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO

CAPACIDAD INSTITUCIONAL EN LA POLÍTICA SANITARIA DEL PROGRAMA NACIONAL DE RASTROS: CASO DE TENANCINGO, ESTADO DE MÉXICO

Cañas-Ramírez, M.A.¹, Cruz-Monterrosa, R.G.¹; Martínez-Tiburcio, G.^{1*}

¹Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Lerma. Av. Hidalgo Poniente 46, Col. La Estación, Lerma de Villada, Estado de México. 52006. México.

*Autor de correspondencia: g.martinez@correo.ler.uam.mx

ABSTRACT

Objective: To assess the functionality of the slaughterhouse in the municipality of Tenancingo, Mexico, evaluating the elements of institutional capacity.

Design/methodology/approach: A search was done through scientific publications in different scientific and academic databases such as Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc, Google Scholar, among others.

Results: The factors that act to the detriment of the slaughterhouse operation are economic, labor, health and political elements. There are groups that act on their own economic and political interests. Within labor aspects, there is a lack of formality from slaughterhouse operators.

Study limitations/implications: The laws exist to not feed the animals with Clenbuterol, but the reality is that they are not implemented.

Findings/Conclusions: In the administrative elements, a mapping of the actors who can improve the operational efficiency of the slaughterhouse is proposed.

Keywords: slaughterhouse, institutional policy, sanitary, administration.

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la funcionalidad del rastro en el municipio de Tenancingo estado de México, evaluando los elementos de la capacidad institucional.

Diseño/metodología/aproximación: Se realizó una búsqueda a través de publicaciones científicas en diferentes bases de datos científicas y académicas como Scielo, Scopus, Latindex, Redalyc,

Google académico entre otras.



Resultados: Los factores que actúan en el detrimento de la operación del rastro son los elementos económicos, laborales, sanitarios y políticos. Existen grupos que actúan sobre sus propios intereses económicos y políticos. Dentro de los aspectos laborales hay falta de formalidad para los operadores del rastro.

Limitaciones del estudio/implicaciones: Las leyes existen para no alimentar a los animales con clenbuterol, pero la realidad es que no se aplican.

Hallazgos/conclusiones: En los elementos administrativos se plantea un mapeo de los actores que puedan mejorar la eficiencia operativa del rastro.

Palabras clave: Rastro, política institucional, sanitaria, administración

las prácticas, el costo sanitario superará los 2,648 millones de pesos, solamente del deterioro ambiental, sin tener en cuenta el gasto público por enfermedades derivadas de la contaminación del agua (Cofepris, 2006).

El objetivo del estudio fue evaluar la capacidad institucional del municipio de Tenancingo dentro de la etapa de implementación del Programa federal, denominado Programa Nacional de Rastros (PNdR). La pregunta de investigación fue: ¿Cuáles son los elementos de la capacidad institucional que determinan el incumplimiento de lo establecido por la Cofepris en materia sanitaria de rastros?

MATERIALES Y MÉTODOS

El municipio de Tenancingo de Degollado se ubica en la zona sur del Estado de México, (21° 52' 51" N, y 102° 17' 46" O). En un primer momento se realizó una matriz de sacrificio, donde se desplegó la cantidad de animales sacrificados en cada día de la semana (Cuadro 1). Esta tabulación se desagregó en una categorización de tres especies que faenan en el rastro.

El sacrificio por especies fue superior para las aves (pollo) con 91% del rastro con una cantidad mayor a las 9,600 cabezas de pollo faenadas por semana, en segundo término, respecto al número de matanzas, es ocupado por los cerdos quienes incorporan 8% del sacrificio semanal, y el tercer espacio se conformó por las reses sacrificadas con un 1%. Una vez contabilizados los servicios de sacrificio, se continuó con la obtención de ingresos de la misma actividad. El Cuadro 2 y 3 citan la tabulación de tarifas y los egresos que el H. Ayuntamiento del municipio,

INTRODUCCIÓN

México se encuentra dentro de la lista de países que deben contar con estándares de calidad internacional para los productos cárnicos que exporta y consume. La verificación y el cumplimiento de dichos estándares recaen en la Secretaría de Salud, a través de la Comisión Federal para la Prevención de Riesgos Sanitarios (Cofepris), son autoridades y órganos encargados de vigilar el cumplimiento de las disposiciones de la normatividad sanitaria vigente. En el caso de la carne, por su propia naturaleza y su ciclo de producción, se considera como un producto con alta susceptibilidad a contaminarse, lo cual implica la presencia de enfermedades transmitidas por el consumo de éstos (Cofepris, 2006).

Las condiciones sanitarias de los rastros y establecimientos que expiden la carne deben de contar con normas de calidad. Según datos de la Cofepris, se considera anualmente una producción de carne de 111 mil t, de establecimientos catalogados con alto, y muy alto riesgo sanitario (Cofepris, 2006). Según datos de INEGI, en su estadística de sacrificio de ganado en rastros municipales del 2016, la producción de ganado para consumo humano anual registró 6,535,385 cabezas de ganado (ovino, porcino, bovino), equivalente a un sacrificio aproximado de 17,905 animales por día y únicamente consensan aquellos canales procesados en rastros municipales registrados por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), dejando una brecha considerable con el número de animales sacrificados en lugares no registrados, por no cumplir con características requeridas por la Institución (INEGI, 2016).

En cuanto al impacto ambiental, estos sitios causan degradación y contaminación de los cuerpos de agua por el faenado que genera, por ejemplo, se siguen vertiendo los residuos líquidos y sólidos erróneamente al drenaje, esto conlleva un impacto adverso para los cuerpos de agua e indirectamente a la salud pública (Signorini *et al.*, 2006). Según datos del Manual de Riesgos Sanitarios de la Cofepris, diariamente se eliminan 121,294 L, de sangre procedente del faenado en los rastros municipales y solo un 44% de los rastros cuentan con incineración de desechos. De acuerdo con el mismo documento, se puede calcular que, de seguir realizando estas ma-

acompañado de su Dirección de Desarrollo Económico ha aprobado para la prestación al público en general del servicio de rastro.

Para poder entender los ingresos provenientes de las cuotas por concepto de servicio público de rastro, hay que considerar que el número de especies sacrificadas no es proporcional al ingreso obtenido, es decir, el no contar con un alto número de sacrificio, significará una alta recaudación de recursos, ya que ésta depende de los costos por especie que autoriza la administración con la colaboración de la Dirección de Desarrollo Económico del municipio. La especie que más genera recursos para el rastro, con un recurso superior a los \$16,000.00 pesos MX por semana se conforma por los cerdos, seguido de las aves con un ingreso superior a los \$9500.00 pesos semanales y por último los bovinos, con una aportación de \$3000.00 pesos por semana.

El Cuadro 4 muestra los recursos que destina la Administración al otorgamiento del servicio público de rastro, es decir aquellos recursos de carácter económico que el administrador del rastro ingresa para que se pueda llevar a cabo la prestación del servicio. Los costos son de un periodo semanal.

Con la información de ingresos y egresos que realiza la administración del rastro municipal de Tenancingo, se deduce que para que el rastro pueda otorgar sus servicios es necesaria una inversión mínima por semana de \$13,000.00 pesos MX, sin mencionar al concepto y pago

Cuadro 1. Actividad de la semana y capacidad de degüello por el sacrificio del rastro municipal de Tenancingo 21 de mayo al 28 de mayo de 2018

Día	Cantidad de animales sacrificados por Especie		
	Porcino	Bovino	Aves
21	110	13	900
22	88	11	930
23	88	15	850
24	103	10	915
25	103	9	865
26	135	13	830
27	98	11	960
28	101	6	703
Sub totales	826	88	9653
Total			10,567

dicho servicio. Las variables para considerar son: a) recursos económicos; b) recursos de infraestructura; y c) recursos políticos.

Cuadro 2. Tarifas aprobadas de degüello por especie sacrificada.

Porcino (\$)	Bovino (\$)	Aves (\$)
20.00	35.00	1.00
Traslado		
75.00	90.00	

Fuente: elaboración propia con base estimación de cuotas y tarifas de la administración 2016-2018.

de 1971, donde se adquirió toda la infraestructura, maquinaria y herramientas considerables con las que aun hoy en la actualidad se sigue brindando el servicio. Hay

que mencionar que actualmente, mucha de la infraestructura y maquinaria se mantiene clausurada debido claramente a los años de servicio que han tenido estos instrumentos de trabajo, pero también a la falta de mantenimiento por parte del municipio y autoridades correspondientes. El rastro de Tenancingo contaba con instalaciones de alto nivel e infraestructura, eran pocos los

de salarios. Es decir, a una cantidad de ingresos por \$29,253.00 pesos se le restan \$13,025.00 y lo que arroja \$16,228.00 es la cantidad que se queda al reparto de salario de los trabajadores contratados por concepto de honorarios.

El análisis que pretende medir la capacidad institucional del municipio en cuanto a la prestación de un servicio público, como lo es el rastro, se tiene que tener en cuenta tres variables potenciadoras que ayudaran a medir la capacidad de otorgamiento de

Una vez conociendo los números de sacrificio que registra el sustento económico del servicio público del rastro de Tenancingo, se describen las instalaciones con las que el municipio cuenta y otorga el servicio público de rastro. En los antecedentes se encontró que el rastro municipal se fundó en el año

Cuadro 3. Ingresos por sacrificio del rastro municipal de Tenancingo, Estado de México por semana.

Día	Porcino (\$)	Bovino (\$)	Aves (\$)	Total, por día
21	2200.00	455.00	900.00	3,555
22	1760.00	385.00	930.00	3,075
23	1760.00	525.00	850.00	3,135
24	2060.00	350.00	915.00	3,325
25	2060.00	315.00	865.00	3,240
26	2700.00	455.00	830.00	3,985
27	1960.00	385.00	960.00	3,305
28	2020.00	210.00	703.00	2,933
Total	16520.00	3080.00	9653.00	
Total, de ingresos obtenidos del 21-28 de mayo			29,253.00	

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4. Egresos de la administración por otorgamiento del servicio público de rastro.

Concepto	Recurso destinado a la semana (\$)
Gas L.P. área de aves	4500.00
Gas L.P. área de cerdos	4500.00
Gasolina transporte A	1200.00
Gasolina transporte B	1200.00
Luz CFE convenio	875.00
Renta de predio para la degradación de esquilmos	750.00
Agua OPDAPAS	0.00
Total	13025.00

Fuente: elaboración propia.

municipios que asimilaban recursos materiales parecidos. Dentro de estas herramientas, cabe destacar un sistema de poleas para el degüello aéreo con una capacidad de carga de hasta ocho toneladas hoy en día clausurado, un incinerador de carne vía combustible gas LP hoy en día clausurado. Un pelador para cerdos vía electricidad, que hoy en día no funciona y por tal esta clausurado. Tres sierras para huesos de carácter rudo vía electricidad, de las que solo una funciona; entre otras herramientas y áreas del rastro que en pasadas administraciones han ido decayendo hasta alcanzar estados críticos y poco funcionales para el otorgamiento del servicio público de rastro. Con ello se demuestra que las instalaciones se han ido desgastando con el paso de las administraciones en el transcurrir de 47 años. El desgaste de las herramientas de trabajo debido al uso, el mal empleo de éstas por falta de capacitación del personal, así como el nulo mantenimiento han sido factores que indirectamente causan un tipo de vulnerabilidad en el rastro, y más directamente a la prestación del servicio. Lo que se pretende aclarar, es que la inversión pública que se ha llevado para la actividad de rastro en el municipio se ve limitada por toda una serie de factores que van desde la escasez de recursos, hasta una serie de prácticas administrativas y laborales que determinan la eficacia del servicio. A esto se le suma el actuar de una serie de actores con diversos intereses que aportaran en contra o a favor del objetivo general del rastro.

Con la información obtenida y analizada, se puede argumentar que en el caso de Tenancingo lo que se comenzó con una fuerte inversión para la consolidación de esta rama económica para el municipio, se ha ido colapsando, debido a los inexistentes ingresos para mantenerla. Hoy en la actualidad, las condiciones del rastro se han vuelto obsoletas e insalubres para la producción y obtención de alimentos, esto debido a que no cuentan con condiciones adecuadas para los volúmenes de sacrificio que realizan dentro de la instalación, dentro de estas condiciones se puede percibir una carencia absoluta en cuanto a los desechos, líquidos, sólidos y basura. Así mismo, una falta de equipo apropiado para el manejo de aves y cerdos, como de los productos que derivan de ellos. Debido a las malas prácticas en la obtención del producto (carne) se ha favorecido la proliferación de enfermedades relacionadas a la falta de higiene, contaminación de cuerpos de agua, tierra, aire, que afectan de una forma directa a la población.

Por tal motivo el objetivo primordial de garantizar la salud en los alimentos de origen animal se ha ido desvaneciendo por cuestiones de rentabilidad económica y producción. Así, los actores que llevan a cabo la implementación u otorgamiento de la actividad deben de dar a conocer los recursos con los que estos cuentan, con el propósito de mejorar las condiciones del rastro. Para conocer el funcionamiento y operación del servicio, se utilizó un mapeo de actores, e identificaron las personas, grupos y organizaciones, ya sean de carácter público o privado relacionados a la prestación del servicio público de rastro en el municipio de Tenancingo. Esto permitió conocer los intereses de los involucrados y determinar a los actores clave que cuentan con un grado relevante de influencia y determinación dentro de la política, e implementación del Programa Nacional de Rastros.

Lo anterior, fue con el fin de establecer las estrategias de vinculación e interacción de los agentes involucrados, y demostrar como toda una serie de elementos de carácter político se convierten en elementos clave en la implementación del programa y la prestación del servicio público de rastro; con ello se determinó lo siguiente: actores claves que se encuentran involucrados, intereses y expectativas de actores que se consideran clave e incluso determinantes para la implementación de acciones.

Algunas cuestiones que se deben contemplar para la realización de dicho ejercicio, es que el rastro municipal de Tenancingo actualmente cuenta con un criterio de autonomía financiera, lo cual le da capacidad al administrador del rastro de ejercer los recursos obtenidos por

la actividad de una manera autosostenible de acuerdo con las necesidades contempladas por dicho actor. Otra cuestión en tener en cuenta es el tipo de plantilla con la que cuenta la entidad, es decir son los mismos productores quienes posicionan las plantillas de trabajo, dejando solamente a los puestos administrativos en dependencia del mismo Ayuntamiento.

La definición de los intereses de cada uno de los actores, grupos o dependencias se realizó en función del problema que enfrenta la prestación del servicio público de rastro (actualmente) en el municipio de Tenancingo, definiendo una clasificación de los intereses (tipología de intereses) que presenta actores positivos, neutros y negativos (Cuadro 5 y 6).

Con el fin de observar la influencia de interacción que se genera en cuanto a la prestación del servicio público de rastro que se otorga en el municipio de Tenancingo de cada actor (Cuadro 7), se requiere efectuar una va-

Cuadro 5. Tipología de los intereses.

Tipología de los Intereses	
Positivos	Aquellos intereses que estén más afines a los objetivos del Programa. (Garantizar la inocuidad del producto)
Neutros	Aquellos intereses que no se vean beneficiados o perjudicados por los objetivos y la implementación del Programa.
Negativos	Aquellos intereses que se encuentren en contra de los objetivos del Programa. (Garantizar la inocuidad del producto)

Fuente: elaboración propia con base al Sistema de Evaluación Del Desempeño 2016 SHCP.

loración de sus expectativas y fuerzas, de modo que se pueda definir la relevancia o prioridad de cada uno en términos de capacidad. Para lo anterior, se usó una herramienta denominada Matriz de Expectativas-Fuerzas, la cual, en conjunto permite estimar la fuerza de cada actor en términos de su poder y más interesante en su interés en ejercerlo.

Cuadro 6. Colocación de actores involucrados según su interés.

Involucrados		
Positivos	Neutros	Negativos
SS ¹ SAGARPA ² SE ³ COFEPRIS ⁵ SENASICA ⁵ Dirección de Desarrollo Económico Dirección de Regulación Sanitaria Dirección de Desarrollo y Obras Públicas Dirección de Ecología y Medio Ambiente Administrador del Rastro Médicos veterinarios zootecnistas S.S.	Presidente Municipal VI Regiduría V Regiduría Supervisor auxiliar Matanceros Tablajeros	Productores Introdutores Médicos veterinarios zootecnistas H.A. Asociación Ganadera

Fuente: elaboración propia con base al Sistema de Evaluación Del Desempeño 2016 SHCP.

¹Secretaría de Salud; ²Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación; ³Secretaría de Economía; ⁴Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios; ⁵Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria.

Cuadro 7. Expectativas-fuerzas de los involucrados, de acuerdo con la interacción de los actores en la implementación y prestación del servicio público de rastro.

Actor/grupo de actores	Interés/expectativa a favor o en contra	Importancia para la implementación del programa	Fuerzas para defender intereses	Calificación
Se establece el actor o grupo de actores	Se señala el interés ya sea a favor o en contra de cada actor	Se otorga un valor correspondiente a su importancia con la siguiente escala: 1=bajo, 2=medio y 3=alto	Se le otorga un valor a su fuerza con la misma escala: 1=bajo, 2=medio y 3=alto	Se multiplican los valores anteriormente asignados. Y la calificación otorgada permite categorizar el poder que tiene cada actor para ejercer en cuanto a su interés

Fuente: elaboración propia con base al Sistema de Evaluación Del Desempeño 2016 SHCP.

Análisis de redes entre los actores involucrados

El análisis de redes es un sistema que concibe la interacción social de los actores, como aquellas redes de interacción social que a base de vínculos determinan la estructura de evaluación. Pretendiendo conocer y establecer los posibles vínculos entre entidades sociales (actores intervinientes) que existen dentro de la prestación del servicio público de rastro, y con ello interpretar ciertos comportamientos por parte de los actores y definir la orientación de las acciones que estos realizan.

El Cuadro 8 muestra la clasificación de los actores que se encuentran involucrados en la prestación y el otorgamiento del servicio público de rastro del municipio de Tenancingo, dentro de la misma tabulación, podemos encontrar la simbología con la que se puede localizar a cada uno de nuestros actores que intervienen en el otorgamiento del servicio. Los vínculos se implementan en el otorgamiento del servicio público de rastro, relacionándose entre los nodos planteados en la Figura 1.

Cuadro 8. Clasificación de actores involucrados en la prestación y otorgamiento del servicio público de rastro.

—	Aquella vinculación entre actores de una forma estable	Estable
—	Aquella vinculación entre actores de una forma estrecha y constante	Buena
- - -	Aquella vinculación entre actores de una forma carente	Mala

Fuente: elaboración propia con base al Sistema de Evaluación Del Desempeño 2016 SHCP.

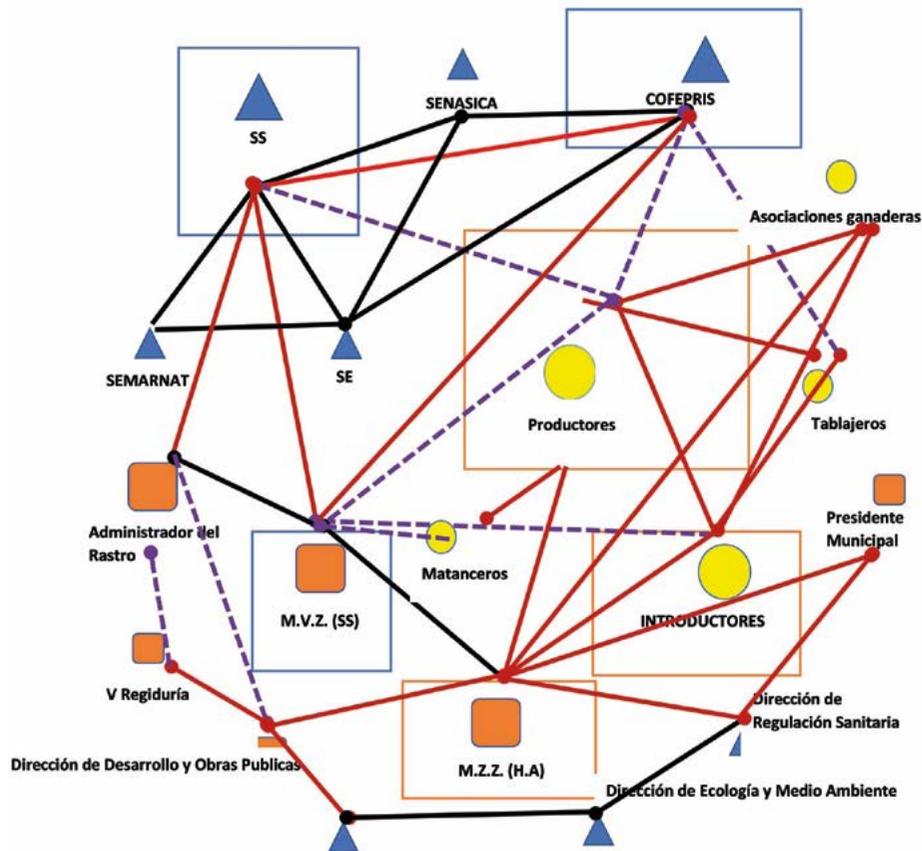


Figura 1. Nodos involucrados en la actividad del rastro.
Fuente: Elaboración propia con base en trabajo de campo

La Figura 1, muestra predominancia de algunos actores sobre otros. Estos actores muestran un perímetro rectangular, debido a que según lo obtenido por la matriz de Fuerzas y Expectativas y en colaboración con lo recaudado del trabajo de campo (entrevistas) resultaron ser actores predominantes, o actores claves en la implementación u otorgamiento del servicio público de rastro. Estos actores como se percibe en el mapeo son la SS, la Cofepris, y los médicos veterinarios por parte de la SS, con un carácter administrativo.

La relación o interacción que se puede percibir por aquellos actores implementadores destaca a la misma SS, como la entidad pública con mayor serie de nodos ya sean de carácter positivo con las otras entidades gubernamentales y organismos públicos a los que se les confiere la regulación de la actividad de rastro, o de carácter negativo, que se presenta con aquellos actores en su mayoría privados que actúan en detrimento de los intereses públicos y se orientan más a intereses económicos o de beneficio personal.

Por la parte administrativa, se localiza a los MVZ del Ayuntamiento (H.A.) como aquellos actores que cuentan con niveles altos de influencia para el otorgamiento del servicio público de rastro, quienes al tener la capacidad de seguimiento al proceso de obtención del producto cárnico, les otorga una incidencia ya sea positiva o negativa en cuanto al objetivo primordial que es el de garantizar la inocuidad de los alimentos. Entonces al ser un actor con influencia tanto positiva como negativa, se ve permeado de una serie de interacciones por parte de los públicos y privados, donde se enfrentan diversos intereses.

En cuanto a los actores privados o particulares se puede visualizar una serie de interacciones entre distintos nodos que van desde lo público, hasta lo particular. Esta serie de relaciones lo que denota es una fuerte estructura orientada a intereses económicos de particulares. Dentro de esta estructura se puede percibir la participación de actores que portan importantes niveles de gobierno, así como actores que juegan un papel administrativo y particulares, que orientan sus propios intereses a un fin en común. Las interacciones puntuadas representan toda esa serie de relaciones opuestas entre los actores involucrados. Interacciones que se ven definidas entre los órganos públicos y secretarías con fuerza y capacidad de sanción frente a los actores administrativos y particulares que actúan en detrimento del servicio.

Hay que destacar que los actores con más interacción dentro de la implementación o prestatario del servicio, lo encabezan la SS, los productores y los MVZ de la entidad. En ellos, podemos encontrar fuerte incidencia en la prestación del servicio, y son ellos quienes a base de materia a intercambiar podrán proponer sus intereses ya sean públicos o privados en el otorgamiento y prestación del servicio.

Avances y Fortalezas

El servicio público de rastro que se otorga en el municipio de Tenancingo cuenta con toda una serie de factores que actúan en pro o a favor de un otorgamiento de un servicio con calidad. Estos factores involucran distintas formas de capital, de las cuales, se habla desde lo material, donde se implica toda la infraestructura con la que ya se cuenta, las herramientas e instalaciones de trabajo que pueden colaborar el otorgamiento del servicio, hacia los particulares. Es decir, el rastro municipal de Tenancingo cuenta con herramientas, áreas, e instalaciones que, aunque en la actualidad se vean un tanto desgastadas y deterioradas, aún tienen la capacidad para generar una producción como la que demanda la entidad. Por eso es de importancia que el mantenimiento se planifique entre las administraciones y se considere una pérdida total de la infraestructura y con ello una enorme limitación en la capacidad de otorgamiento.

El otro factor que se localizó dentro del análisis y que coadyuba con potenciar las capacidades institucionales en la prestación del servicio de rastro, involucra aquellos elementos de capital humano con los que se cuenta. Factores administrativos, de capacidad de los trabajadores hacen del rastro en evaluación, un organismo públi-

co con altas capacidades en la prestación del servicio, y al contar con personal altamente capacitado para las tareas administrativas y laborales del rastro, se puede alcanzar estándares de eficacia y eficiencia, que la entidad demanda. Los niveles de producción de alimentos de origen animal que el rastro municipal genera dentro de sus propias instalaciones, necesita de personal altamente capaz en sus labores ya sean administrativos o de faena, generando ingresos de carácter económico para la sostenibilidad de la institución.

Otro elemento con singularidad e importancia observado a su favor, son los altos niveles de producción que el rastro realiza. Al ser el municipio de Tenancingo una entidad que funge como corredor mercantil para los municipios colindantes de la región, hace que se cree un dinamismo mercantil intermunicipal, posicionando a Tenancingo, como un municipio apto para la realización del faenado de la región. Por lo tanto, tener un promedio de producción semanal mayor a las 10 mil cabezas de animales faenados en la instalación, amplía la capacidad de recaudación y con ello los ingresos percibidos por el concepto de matanza. Al generar mayores niveles de producción se puede manejar una estandarización económica para el rastro, manteniendo así, un ingreso constante y si no es mayor al menos suficiente para poder seguir otorgando un servicio de rastro con los niveles actuales (OCDE, 2006).

Problemas y retos

Los factores que actúan en detrimento de la prestación del servicio público del rastro son los elementos económicos, laborales, de salud, higiene, políticos e interacción entre los actores y sociales. Es importante destacar que algunos de éstos cuentan con un carácter altamente subjetivo y por ende su localización fue posible gracias a las entrevistas y metodología utilizada. En principio se puede afirmar que la variable económica es un limitante demasiado importante en cuanto a la prestación del servicio público. El rastro al no contar con algún tipo de transferencia económica por parte del municipio o instituciones respectivas, puede hacer la sostenibilidad una situación difícil.

Las necesidades de obtener recursos económicos para el rastro hacen de esto, un arma de doble filo, debido a la sobreexplotación de los índices de producción con el fin de obtener mayores ingresos, por ejemplo, el desgaste excesivo para la infraestructura, áreas y herramientas del rastro. A este exceso de uso, se les suma el nulo

mantenimiento a dichas herramientas. En cuanto a la higiene, mediante las visitas in situ que se realizaron, se pudo registrar anomalías que violentan y actúan en contra de la inocuidad de los alimentos dentro de las mismas instalaciones. Estas anomalías se pueden percibir desde las malas prácticas por parte de los operadores y trabajadores del rastro, prácticas donde el producto (carne) se encuentra en contacto directo con posibles contaminantes, carne en el piso, la carencia de áreas suficientes para las canales, no existe separación entre el área de obtención y la del lavado o evisceración, mal uso de las herramientas por parte de los trabajadores, y una mínima sanitización de áreas e instrumentos de trabajo.

En cuanto a los elementos políticos que se llevan a cabo en el otorgamiento del servicio público y que actúan en contra de los fines primordiales del rastro, se planteó una matriz de Expectativas-Fuerzas, una serie de interacciones entre actores que creemos violentan los principios con los que se otorga el servicio. En resumen, existen relaciones de actores que van a actuar sobre sus propios intereses y donde permearan los intereses económicos sobre los públicos. Al suceder esta serie de sinergias entre los actores, se presta a una descomposición del otorgamiento, lo que pone en riesgo la inocuidad de los alimentos.

Con base en el mapeo de actores, se puede decir, que es gracias a esto, que se puede localizar un proceso viciado por toda una serie de elementos, que hacen del debido proceso, una situación difícil de cumplir. La materia para intercambiar se localiza dentro del proce-

so, esto hace referencia a una ganancia económica respecto a los actores que cuentan con capacidad de operación dentro del otorgamiento. Esto se puede ilustrar con miembros o trabajadores del ayuntamiento que se ven cooptados por recursos económicos por los introductores o productores de ganado que tienen el fin de introducir sus animales para la producción de alimentos, sin que estos cumplan los requisitos mínimos sanitarios necesarios para su procesamiento.

Dentro de los aspectos laborales que se encontraron en el rastro, se puede localizar una falta de formalidad para los operadores del rastro, esto al conformar un trabajo de carácter informal para la mayoría de los que integran el organigrama oficial de la administración. Se carece de algún tipo de seguridad social, lo que fomenta a la realización de malas prácticas dentro de su labor y obtención del producto cárnico (Aguilar 1993). Las condiciones que hoy en día se les otorga a los trabajadores del rastro, son deplorables. A ellos no se les ofrece las herramientas necesarias con las que se pueda garantizar su seguridad.

En los elementos administrativos se plantea un mapeo de actores, donde la relación que existe entre el Ayuntamiento a través de sus regidores con el administrador del rastro y actores administrativos del rastro es bastante fragmentada, y nulamente fructífera en pro del servicio. Al no contar con un dialogo continuo entre regidor y administrador, las carencias que hoy en día existen en el rastro se verán maximizadas en algún tiempo. Otro elemento referente a la interacción de actores, pero que ahora interviene en el ámbito económico, es la estimación de tarifas, con las que el rastro hoy en la actualidad brinda su servicio. Al parecer lo que reflejan estas tarifas es una desgastada relación entre la administración del rastro y la Dirección de Desarrollo Económico del municipio, donde la poca relación que se tuvo dejó un costo de tarifas que hoy en día no hacen anuncio a las necesidades del rastro. El cobrar costos sumamente bajos en el otorgamiento del servicio hace que se gaste una relación poco sostenible entre costos de otorgamiento y beneficios.

CONCLUSIONES

El dejar que estas áreas sigan operando de la misma manera, o que estos actores se involucren de una forma deficiente a la prestación del servicio, gestara una serie de problemáticas mayores que albergaran costos superiores a los costos de rectificación que en este momento se necesitan. Una vez superada esta etapa, lo que vendrá son costos superiores o beneficios obtenidos por el rastro del municipio.

LITERATURA CITADA

- Aguilar, 1993. Problemas públicos y agenda de gobierno. Colección Antologías de Política Publica. Tercera antología. Amargura 4, San Ángel, 01000, México, D. F. Ed. Porrúa. 292 p.
- Cofepri, 2006. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales. Mexico DF. Julio de 2006. 32 p.
- https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/154388/Evaluacion_de_riesgos_de_los_rastros_y_mataderos_municipales.pdf
- INEGI, 2016. Sacrificio de ganado. <http://www.beta.inegi.org.mx/temas/ganado/>

- OCDE. 2006. Políticas publicas para un mejor desempeño económico. Experiencias del mundo para el desarrollo, México 10 años en la OCDE. Polanco, Miguel Hidalgo C.P. 11560, México, D.F. 246 p.
- Signorini P.M., Orchietto M., Civit G.S., Bonilla P.M., Cervantes R.M., Calderón V.M., Pérez M.A., Espejel M.M., Almanza R.C. 2006. Evaluación de riesgos de los rastros y mataderos municipales.
- Sistema de Evaluación Del Desempeño 2016 SHCP. Palacio Nacional. Plaza de la Constitución s/n Colonia Centro, Delegación Cuauhtémoc México, D.F. <https://www.transparenciapresupuestaria.gob.mx/es/PTP/evaluaciones>





Maestría en Ciencias: INNOVACIÓN EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

Colegio de Postgraduados, Campus San Luis Potosí

admisiones.cslp@colpos.mx



CONSULTA: Dr. Ing. habil Erich Dietmar Rössel Kipping, SNI-I

**MAESTRÍA en CIENCIAS
INNOVACIÓN en MANEJO de RECURSOS NATURALES**

OBJETIVO
Preparar profesionales a nivel postgrado, dentro del ámbito del desarrollo e innovación en el manejo sustentable de recursos naturales para la transformación rural, que se integren dentro de los sectores público y privado y sean coadyuvantes en el desarrollo rural y en el mejoramiento de la calidad de vida de la sociedad.

Innovando con ciencia y visión sustentable

Programa con reconocimiento del Padrón Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT

Duración: **2 años**

SIEMPRE A LA ASIGNACIÓN Y DISPONIBILIDAD A los estudiantes aceptados a cursar el programa de Maestría en Ciencias en Innovación en Manejo de Recursos Naturales

Fechas límite para recepción de documentos:
31 de mayo de 2019 para ingreso en agosto 2019

Los requisitos de ingreso y formato de admisión pueden descargarse en www.colposslp.mx

Doctorado por investigación (Innovación en Manejo de Energías Renovables)

Informes
Subdirección de Educación, Campus San Luis Potosí,
Colegio de Postgraduados
Tel. 01 (496) 963 0240 y 0448 ext. 4020 y 4008
admisiones.cslp@colpos.mx
Iturbide #73, Salinas de Hidalgo, S.L.P. C.P. 78600

Temas de investigación para la tesis:

- Secador solar - calentador solar - fotovoltaica ①
- Biodigestor termófilo - calentador solar - fotovoltaica ②
- Purificador de agua - ultravioleta - fotovoltaica ③
- Conexión fotovoltaica a la red eléctrica ④
- Extracción del aceite y jugo vegetal - calentador solar ⑤
- Desfibradora - fibras de agave ⑥
- Refrigeración - fotovoltaica ⑦
- Bombeo de agua - fotovoltaica - riego por goteo etc. ⑧
- Hidrólisis - fotovoltaica
- Producción de peces - oxígeno - fotovoltaica
- Mecanización de producción de semillas de calabaza (secador, tostador, cosechador, limpiador, descascarador, etc.)
- Sistematización de biomateriales
- Balance energético
- Climatización de invernaderos - energía solar (fotovoltaica y calentador solar)
- Captación de lluvia - fotovoltaica
- Recolector de plástico usado

Resultados de las tesis realizadas:



*Los equipos numerados están patentados

INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Objetivo

Formar talento humano con conocimiento de vanguardia en los procesos de producción, transformación y comercialización, que cuenten con habilidades y actitudes pertinentes, que les permitan contribuir al desarrollo e innovación tecnológica, socioeconómica y ambiental de los sistemas agroalimentarios, bajo una perspectiva sustentable.

Perfil de ingreso

El aspirante a la Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable debe tener estudios concluidos de licenciatura o ingeniería en las áreas de agronomía, biología, veterinaria, agroindustria, alimentos, química, maquinaria, estadística, economía, psicología, sociología, administración y carreras afines.



Lineas del Conocimiento (LGAC)

Las líneas de investigación del programa de Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable se dividen en tres ejes principales:

1 Eficiencia y sustentabilidad en la producción primaria en sistemas agroalimentarios

2 Innovación y desarrollo de procesos agroalimentarios para el bienestar social

3 Comercialización y competitividad agroalimentaria con responsabilidad social y ambiental



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
Programa Nacional de
Posgrados de Calidad (PNPC)

Becas

Contamos con becas del Programa Nacional de Posgrado de Calidad (PNPC) del CONACYT

Informes

Subdirección de Educación del
Campus Córdoba
☎ 01(271) 716 60 00 / 57 / 55 Ext. 114
✉ admision_cordoba@colpos.mx

Los requisitos de ingreso y formatos de admisión pueden ser obtenidos en la página web oficial
www.colpos.mx/posgrado/ias/index.php
www.colpos.mx

f Colegio de Postgraduados Campus Córdoba
f Maestría en Ciencias en Innovación Agroalimentaria Sustentable
✉ mcinnovaciones@colpos.mx
📍 Colegio de Postgraduados / Campus Córdoba
km 348 / Carr. Federal Córdoba-Veracruz
Amatlán de Los Reyes, Ver. / CP 94946