

# Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente

Revista semestral del Departamento de Producción Agrícola y Animal  
de la UAM-X ISSN 2007-7556



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

**35**

Julio 2018



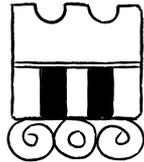
# **Sociedades Rurales**

**Producción y Medio Ambiente**



# Sociedades Rurales

Producción y Medio Ambiente



Casa abierta al tiempo  
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA  
UNIDAD XOCHIMILCO

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA**

Rector General

**Dr. Eduardo Abel Peñalosa Castro**

Secretario General

**Dr. José Antonio de los Reyes Heredia**

**UNIDAD XOCHIMILCO**

Rector

**Dr. Fernando de León Gozález**

Secretaria

**Dra. Claudia Mónica Salazar Villava**

**DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD**

Director

**Mtro. Rafael Díaz García**

Jefa del Depto. de Producción Agrícola y Animal

**Dr. Rey Gutiérrez Tolentino**

Director de la revista

**Adolfo Álvarez Macías**

**COMITE EDITORIAL**

**Ciencias Agrícolas**

**Dr. Carlos H. Ávila Bello**

Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria

Universidad Veracruzana

**Dr. Rodolfo Figueroa Brito**

Centro de Desarrollo de Productos Bióticos

Instituto Politécnico Nacional

**Dr. Daniel Ruiz Juárez**

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

**Ciencias Pecuarias**

**Dr. Carlos Arriaga Jordán**

Instituto de Ciencias Agropecuarias y Desarrollo Rural

Universidad Autónoma del Estado de México

**Dr. Luis Corona Gochi**

Jefe del Departamento de Nutrición Animal y Bioquímica

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia

Universidad Nacional Autónoma de México

**Dr. Antonio Martínez García**

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

**Calidad e Inocuidad de Productos Agroalimentarios**

**Dr. Arturo Camilo Escobar Medina**

Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (Cuba)

**Dr. Eduardo Morales Barrera, UAM-X**

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

**Dra. Silvia D. Peña Betancourt**

Departamento de Producción Agrícola y Animal

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco

**Economía y Desarrollo Rural**

**Dra. Tamara Perelmutter**

Instituto de Investigaciones Gino Germani (IIGG)

Universidad de Buenos Aires

**Acuicultura y Pesca**

**Dr. Iván Gallego Alarcón**

Diseño y formación

**D. C. G. Mary Carmen Martínez Santana**

Corrección

**D. C. G. Amada Pérez**

SOCIEDADES RURALES, PRODUCCIÓN Y MEDIO AMBIENTE.

Año 2018, número 35, Julio de 2018, es una publicación semestral de la Universidad Autónoma Metropolitana, a través de la Unidad Xochimilco, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Departamento de Producción Agrícola y Animal. Prolongación Canal de Miramontes 3855, Col. Ex-Hacienda San Juan de Dios, Delegación Tlalpan, C.P. 14387, México, D.F., y Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, Delegación Coyoacán, C.P. 04960, México, D.F., Tel. 54837231 y 54837230. Página electrónica de la revista: <http://srpma.xoc.uam.mx> y dirección electrónica: [aalvarez@correo.xoc.uam.mx](mailto:aalvarez@correo.xoc.uam.mx) Editor Responsable Adolfo Álvarez Macías.

Certificado de Reserva de Derechos al Uso Exclusivo del Título No. 04-2011-081214583100-203, ISSN 2007-7556, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor.

Índices de revistas a los que pertenece SRPMA: LATINDEX y PERIODICA.

Responsable de la última actualización de este número:

Mary Carmen Martínez Santana, asesor externo

correo: [macma\\_577@hotmail.com](mailto:macma_577@hotmail.com).

Tamaño del archivo 1700 KB.

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

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Autónoma Metropolitana.

Suscripción anual (2 números)

México: \$220.00

Estados Unidos: \$50.00 USD

Centro América y Sudamérica: \$40.00 USD

Europa: \$60.00 USD

© 2000, Universidad Autónoma Metropolitana, D.R.

# Índice

<b>Editorial</b>	9
<b>Política de la revista</b>	13
<b>ARTÍCULOS CIENTÍFICOS</b>	
<b>Características Morfométricas y Físicoquímicas de Frutos de Xoconostle Cultivados y Silvestres en Hidalgo</b> <i>Mónica Gutiérrez Rojas, Daniel Ruiz Juárez, Gilberto Vela Correa y Javier L. Olivares Orozco</i>	17
<b>Estudios de interceptación de lluvia en bosques de importancia hidrológico-forestal</b> <i>Eulogio Flores Ayala, Fernando Carrillo Anzures, Francisco Becerra Luna, Fabián Islas Gutierrez, Enrique Buendía Rodríguez, Miguel Acosta Mireles y Tomas Pineda Ojeda</i>	45
<b>Propiedades funcionales de las proteínas del huevo de codorniz y contenido nutrimental</b> <i>José Fernando González Sánchez, Susana E. Ramírez Sánchez, Isaac Conrado Gallardo Vargas, Francisco Héctor Chamorro Ramírez y Hernández Unzón Haydee</i>	65

<b>El perfil lipídico de maíces híbridos y nativos de climas tropicales contaminados con aflatoxinas y fumonisinas</b> <i>Silvia Denise Peña Betancourt</i>	93
<b>Cuatro aportes de alimentos y edulcorantes con amplia oferta comercial sugeridos con frecuencia para la alimentación de la tercera edad</b> <i>Martha Coronado Herrera., Salvador Vega y León, Rey Gutiérrez Tolentino, Claudia Cecilia Radilla Vázquez y Carlos Alpizar López</i>	109
<b>ARTÍCULOS DE REVISIÓN</b>	
<b>Propuesta para establecer un acuerdo nacional para la calidad, cuidado y uso del agua en la ganadería mexicana</b> <i>J. Ángel Gómez Reyes, María Jesús Ferrara Guerrero, Jesús A. Guevara, Yasmin Guadalupe De Loera Ortega, José Roberto Angeles Vázquez y Adelfa del Carmen García Contreras</i>	137
<b>Naturaleza y acciones de los plaguicidas organofosforados sobre el ambiente y la salud</b> <i>Guadalupe Prado Flores, Javier Olivares Orozco, Fidel Payán Zelaya y Georgina Alarcón Ángeles</i>	151
<b>Guía de autores</b>	181

# Editorial

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* es una publicación del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, desde el año 1990. Su publicación se inició en forma impresa, no obstante, con el fin de optimizar recursos y ampliar su difusión se ha venido consolidando como revista electrónica. En esa línea, la revista prosigue su proceso de mejora continua de sus procesos editoriales, apegándose a los criterios de calidad que emiten los organismos especializados. Por ello, en los últimos números se han mantenido contenidos con un mayor número de colaboraciones, aun cuando esto ha propiciado ciertos retrasos en la aparición de la revista. En cualquier circunstancia, se valoran los avances alcanzados, que esencialmente pueden atribuirse a los autores, árbitros, comentaristas y editoras, así como al respaldo de la Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.

Desde la dirección de la revista se ha actuado para elevar la calidad de las contribuciones, agilizar los periodos de interacción entre autores y árbitros, aumentar la cartera de éstos y ampliar la difusión de la revista para captar mayor número de contribuciones. En este contexto, sigue abierta la convocatoria para que investigadores y estudiosos de diversas instituciones nacionales y del extranjero, y desde las diferentes disciplinas relacionadas al desarrollo de las sociedades rurales, producción y medio ambiente propongan aportaciones derivadas de sus investigacio-

nes. La participación puede ser directa o por medio de la invitación de pares académicos, estudiantes de posgrado y cualquier otro actor con potencial para proponer trabajos susceptibles de ser publicados.

En este número también se presentan contribuciones diversas. En el primer artículo se analizan las características morfométricas y fisicoquímicas de frutos de xoconostle de *Opuntia matudae* cv. Cuaresmero y de *O. joconostle* cv. Burro, cultivados y silvestres, obtenidos a través de colectas en tres municipios del estado de Hidalgo. La morfología, pH, grados Brix y contenido nutrimental se evaluaron en frutos completos, cáscara, pulpa y semillas. Los frutos de xoconostle de origen silvestre obtuvieron valores de calidad más altos, respecto a los cultivados, en el diámetro longitudinal, peso del fruto completo, peso de la pulpa y grados Brix; estas variables podrían asociarse en un indicador de calidad en la cosecha.

En el segundo artículo se estiman las cantidades de lluvia que interceptan cuatro contrastantes comunidades forestales en las cuencas hidrológico-forestales del Río Amajac y Río Texcoco, en los estados de Hidalgo y México, respectivamente. Se establecieron cuatro módulos de investigación para realizar mediciones dendrométricas de cada árbol; además, durante los periodos de lluvia de los años 2007, 2009, 2010 y 2011 se realizaron mediciones de precipitación, determinándose cantidades de precipitación total y su distribución dentro de cada periodo de lluvia. Se determinó las cantidades de lluvia interceptadas por el dosel de copas del arbolado, expresados como porcentajes, para los cuatro grupos estudiados: matorral (18.6%), oyamel (26.1%), encino (21.7%) y pino (19.2%). Por último, se generaron los modelos estadísticos no lineales de la relación: precipitación total (mm)-lluvia interceptada (%), para cada tipo de bosque.

En el siguiente artículo se evalúan las características nutricias y las propiedades funcionales de las componentes del huevo de codorniz. Se determinaron las propiedades funcionales de huevos almacenados a temperatura ambiente a los 10, 20 30, 40, 50 y 60 días, después de la

postura. Se determinó el nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, lípidos totales y colesterol. Las propiedades funcionales de formación de espuma y emulsión del huevo de codorniz son semejantes a las del huevo de gallina; también se determinó que en cuanto a la capacidad de coagulación, se requiere de una temperatura menor para coagular las proteínas del huevo de codorniz debido a la transformación lenta de la ovoalbúmina a su forma termoestable. El valor nutrimental de proteína de los huevos de codorniz es semejante al de los huevos de gallina; además la cantidad de lípidos totales es mayor, el contenido de colesterol no tiene diferencias y la cantidad de ácidos grasos de la yema resulta similar.

En el cuarto artículo se analiza el contenido de grasa total, perfil lipídico, fumonisinas y aflatoxinas en dos genotipos de maíz procedentes del estado de Morelos y de la Ciudad de México. Los maíces híbridos contaminados con micotoxinas presentaron mayor contenido de grasa total que los maíces nativos y del ácido graso palmítico. Ambos genotipos de maíz presentaron aflatoxinas y fumonisinas en niveles permitidos por la regulación nacional. Se concluye la coexistencia de aflatoxinas y fumonisinas en los maíces y su influencia sobre el perfil de ácidos grasos.

En la quinta contribución se plantea el uso de los alimentos funcionales en la industria alimentaria, como: los alimentos o productos que contienen fibra, antioxidantes, omega -3, o aquellos alimentos con adición o eliminación de algún componente dietario y edulcorantes, que se encuentran dirigidos a la población en general, y a la tercera edad en particular. Se analizan las funciones de cada uno de estos alimentos o productos en el organismo humano, así como la mejoría del estado de salud tras su consumo con respecto a diversas enfermedades crónico degenerativas y se examinan algunos datos sobre el envejecimiento humano.

En la siguiente contribución se presenta un artículo de revisión en torno al tema del agua utilizada en la ganadería mexicana, destacando que no existe una norma oficial específica para su aprovechamiento. Se subraya que el agua disponible en México para esta actividad produc-

tiva muestra una calidad variable y, con frecuencia, su baja calidad representa riesgos para la salud y producción de los animales e, inclusive, riesgos en la salud de las personas. Al respecto, la Ley Federal de Salud Animal establece que el agua suministrada a los animales, y utilizada en las actividades ganaderas, sea analizada bajo la norma NOM-127-SSA1-1994, que no cumple a cabalidad con la calidad que requiere la industria pecuaria. Por ello, se establecen los parámetros químicos, físicos y microbiológicos del agua destinada a la ganadería.

Se cierra este número, con una revisión en torno a los plaguicidas organofosforados y sus efectos sobre la salud y el medio ambiente, que derivan de su naturaleza química y sus funciones. Se presentan las estructuras de compuestos frecuentes, agentes fisicoquímicos que inducen alguna actividad tóxica, mecanismos básicos de acción y farmacocinética. También se examinan relaciones entre la naturaleza de algunos compuestos, su toxicidad y los efectos sobre la salud, como metodologías de cuantificación con sus características analíticas.

Cabe reiterar que el proceso de mejora general en que se mantiene la revista se reforzará para que se logre el reconocimiento necesario que traiga a nuevos autores y lectores, por tanto, son bienvenidas todas las sugerencias y observaciones que se consideren pertinentes y coadyuven en este proceso. A la vez, esta publicación está abierta a todas las propuestas académicas de calidad que se puedan publicar.

**Adolfo Álvarez Macías**  
Director

## Política de la revista

La revista *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* continua con el respaldo del Departamento de Producción Agrícola y Animal, de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, así como de otras autoridades que están comprometidas con la misión de publicar regularmente y avanzar en la consolidación de esta publicación para que mantenga su función como instrumento de promoción y difusión del trabajo científico del personal académico del propio Departamento, así como de sus pares académicos y todos los interesados en sus temas eje. Desde su origen, la revista se planteó con el objetivo central de comunicar y promover los avances en el desarrollo de las ciencias y campos de conocimiento asociados al estudio multidisciplinario de la producción y las transformaciones sociales, económicas, tecnológicas y ambientales en los territorios rurales, en el marco de un sistema alimentario mundial en permanente evolución.

Las temáticas que se privilegian en esta publicación comprenden los procesos que inciden en la confección de los distintos modelos de producción agropecuaria, silvícola, acuícola y pesquera, así como las actividades conexas al desarrollo rural bajo los métodos de análisis y la aplicación del conocimiento biológico, ambiental y socioeconómico, sin olvidar los análisis interdisciplinarios que se vienen construyendo. Así, la publicación comprende los cuerpos de conocimientos y métodos de las ciencias biológicas, sociales y ecológicas que tratan de explicar

los problemas –científicos, tecnológicos y culturales– que enfrentan las sociedades a través de sus territorios rurales, la agricultura, los recursos naturales, la alimentación y el desarrollo regional. En esa lógica, se trata de que se discutan y formulen alternativas de solución para los diversos problemas y retos locales, regionales, nacionales y globales.

De esta forma, *Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente* se orienta hacia la evaluación de la investigación de frontera y el nivel actual de la discusión entre disciplinas relacionadas con el objeto de estudio. Desde esa perspectiva, se pretende que las distintas contribuciones en la revista aborden la temática con rigor científico y con una visión humanista que brinde proyección y sentido a los resultados presentados. En ese marco, se reitera que la política de la revista promueve la publicación de trabajos que aporten información inédita y original bajo las siguientes cuatro modalidades: i) Artículos de investigación, ii) Artículos de revisión y Notas de investigación, iii) Ensayos y revisiones bibliográficas y iv) Reseñas de libros y de eventos especializados.

De esta forma, la publicación se mantiene como un campo abierto, crítico y constructivo que busca enriquecer las explicaciones científicas e interpretaciones que coadyuven al desarrollo rural, agropecuario, alimentario y regional, teniendo como principios rectores: la equidad, la sostenibilidad y la competitividad. Aparte de las contribuciones individuales, también se viene fomentando la edición de números temáticos, desarrollados por grupos formales e informales de investigación, para el abordaje de objetos de estudio comunes bajo distintas ópticas analíticas, métodos de trabajo, e incluso disciplinas. Para los interesados en esta segunda opción se les invita a contactar a la dirección de la revista para coordinar de la mejor manera posible alternativas de este tipo.

En síntesis, esta revista se mantiene como una casa abierta para contribuciones del medio científico, tecnológico y del desarrollo que permitan fomentar y dar sustento al trabajo académico. Finalmente, nos gustaría subrayar que esta revista está inscrita en *LATINDEX*, así como en *PERIODICA*, esperando en el futuro cercano avanzar en ese sentido.

Para mayor información sobre la publicación, favor de dirigirse a:

**Adolfo Álvarez Macías**

Director de la revista.

Edificio 34, tercer piso.

Jefatura del Departamento de Producción Agrícola y Animal.

Calzada del Hueso 1100, Col. Villa Quietud, 04960, Ciudad de México.

Tels. 5483-7230 y 7231.

e-mail: [aalvarez@correo.xoc.uam.mx](mailto:aalvarez@correo.xoc.uam.mx).

La guía para autores puede consultarse en: <http://srpma.xoc.uam.mx>.



# Características Morfométricas y Fisicoquímicas de Frutos de Xoconostle Cultivados y Silvestres en Hidalgo

Mónica Gutiérrez Rojas,<sup>1</sup> Daniel Ruiz Juárez,<sup>2</sup>  
Gilberto Vela Correa<sup>3</sup> y Javier L.Olivares Orozco<sup>2</sup>

**Resumen.** El objetivo de este trabajo fue comparar las características morfométricas y fisicoquímicas de frutos de xoconostle de *Opuntia matudae* cv. Cuaresmero y de *O. joconostle* cv. Burro, cultivados y silvestres. Los frutos se colectaron en tres municipios del estado de Hidalgo, México. La morfología, pH, grados Brix y contenido nutrimental se evaluaron en el fruto completo, cáscara, pulpa y semillas. Los datos se procesaron estadísticamente mediante un análisis de varianza y comparación de medias (Tukey  $p \leq 0.05$ ). Se observaron diferencias estadísticas significativas en el diámetro longitudinal (67.40 mm), diámetro ecuatorial (52.34 mm), peso del fruto completo (94.28 g), de cáscara (4.75 g), de pulpa (69.34 g) y de semillas (11.93 g); jugosidad de la pulpa (Media), humedad (67.46 %) y proteína de la pulpa (3.03 %); extracto etéreo (14.85 %), fibra (55.27 %) y pH de semillas (5.27); cenizas de cáscara (17.14 %) y grados Brix del fruto (6.65). Las diferencias se debieron a los sitios cultivados y/o silvestres. Los frutos de xoconostle de Chapantongo de origen silvestre obtuvieron valores de calidad más altos en el diámetro longitudinal, peso del fruto completo, peso de la

<sup>1</sup> Programa Maestría en Ciencias Agropecuarias, Universidad Autónoma Metropolitana-Conacyt, e-mail: mgracg@yahoo.com.mx.

<sup>2</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Producción Agrícola y Animal, México.

<sup>3</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento del Hombre y su Ambiente, México.

pulpa y grados Brix. Estas variables se sugieren como un indicador de calidad en la cosecha.

**Palabras clave:** *parámetros de calidad, xoconostle, Opuntia matudae cv. Cuaresmero, Opuntia joconostle cv. Burro.*

**Abstract.** *The objective of this work was to compare the morphometric and physicochemical characteristics of xoconostle fruits of Opuntia matudae cv. Cuaresmero and of O. joconostle cv. Burro cultivated and wild in Hidalgo. Cultivated and wild fruits were collected from three municipalities in the state of Hidalgo, Mexico. The morphology, pH, °Brix and nutritional content were evaluated in the complete fruit, skin, pulp and seeds. The data were processed statistically by means of an analysis of variance and comparison of means (Tukey  $p \leq 0.05$ ). Significant statistical differences were observed in the longitudinal diameter (67.40 mm), equatorial diameter (52.34 mm), weight of the complete fruit (94.28 g), skin (4.75 g), pulp (69.34 g) and seeds (11.93 g), juiciness of pulp (medium), humidity (67.46%) and pulp protein (3.03%), ether extract (14.85%), fiber (55.27%) and pH of seeds (5.27), skin ashes (17.14 %) and °Brix of the fruit (6.65). The differences were due to cultivated and/or wild sites. Chapantongo xoconostle fruits of wild origin obtained higher quality values in the longitudinal diameter, weight of the complete fruit, weight of the pulp and °Brix. These variables are suggested as an indicator of quality in the harvest.*

**keywords:** *quality parameters, xoconostle, Opuntia matudae cv. Cuaresmero, Opuntia joconostle cv. Burro.*

## INTRODUCCIÓN

México es centro de origen de una gran diversidad de especies del género *Opuntia*, en estas especies se encuentran cactáceas productoras de frutos dulces llamados tunas y frutos ácidos denominados xoconostles (*nochtli*=tuna; *xoco*=agria) (Bravo y Scheinvar, 1995; Olivares *et al.*, 2003). Existen 19 especies distribuidas en el norte y centro del territorio mexicano, no obstante, se desconoce la superficie total que ocupan las especies cultivadas y silvestres (Scheinvar, 2011). De estas especies, sólo *O. matudae* cv. Cuaresmero y *O. joconostle* cv. Burro se cultivan y explotan de forma comercial (Scheinvar, 2011). El xoconostle presenta un potencial económico y alimenticio debido a sus múltiples usos como verdura, condimento y alimentos procesados (Fierro *et al.*, 2006; Martínez-Soto *et al.*, 2012), además de sus propiedades medicinales y terapéuticas atribuidas a la alta cantidad de pigmentos y antioxidantes que posee el fruto (Bravo y Sánchez, 1991; Scheinvar *et al.*, 2001; Olivares *et al.*, 2003).

De la producción nacional, 95% se concentra en el Estado de México con un promedio 1250 ha cultivadas con xoconostle, el resto de la producción se ubica en algunos municipios del estado de Hidalgo, con los cultivares Cuaresmero y Burro, que son las especies más representativas de este estado (SIAP, 2015). Aun con las bondades del xoconostle como alimento, a nivel nacional e internacional se desconocen los indicadores de calidad e inocuidad que deberían presentar los frutos para la cosecha y consumo humano (Scheinvar *et al.* 2009), sin embargo, a la fecha, las investigaciones se han centrado en aspectos de cultivo y producción, es el caso de *O. matudae* cv. Cuaresmero y *O. joconostle* cv. Burro (Morales, 2009). Por lo que el objetivo de este trabajo fue comparar características morfológicas y físicoquímicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres en Hidalgo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características de la zona de estudio

El trabajo se realizó durante los ciclos Primavera-Verano y Otoño-Invierno 2015-2016 en cuatro sitios de tres municipios del estado de Hidalgo. El municipio de Chapantongo se ubica entre los 20°17'07" y 99°24'46" a 2120 msnm, Huichapan, entre los 20°22'24" y 99°38'56" a 2108 msnm y Tula de Allende entre los 20°03'23", a los 99°20'31" a 2020 msnm del Valle del Mezquital, Hidalgo. El clima en los cuatro sitios es templado subhúmedo con lluvias en verano, con una media anual de 550 mm de precipitación y temperatura anual que oscila entre 12 y 30 °C (GEH, 2011; INEGI, 2016). A partir de aquí, los sitios se nombrarán como "Sitio 1Ch-C" Chapantongo (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero), "Sitio 2Ch-S" Chapantongo (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro), "Sitio 3TA-S" Tula de Allende (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) y "Sitio 4Hu-C" Huichapan (cultivo de *O. joconostle* cv. Burro).

### Muestreo de frutos de xoconostle

De cada sitio de estudio se tomaron cinco puntos de muestreo distribuidos de forma aleatoria. Cada punto de muestreo cubrió una circunferencia de 25 m<sup>2</sup>; se seleccionaron 10 plantas de xoconostle integradas dentro del diámetro de la circunferencia. A partir de éstas, se tomaron 10 frutos de color rosado como indicador de madurez fisiológica para la cosecha; por sitio se colectó un total de 50 frutos de xoconostle maduros para la caracterización físico-química. Los frutos de los sitios cultivados con xoconostle se tomaron de plantas de huertos en producción, con una actividad comercial consecutiva de cuatro años. El marco de plantación se encuentra a una distancia de 3 m entre filas y 3 m entre planta y planta, y no cuentan con un programa de fertilización. En los sitios de produc-

ción de xoconostle silvestre, los frutos se tomaron de plantas que son utilizadas como potreros y distribuidas de forma aleatoria. En los diferentes sitios evaluados y de cada planta donde se colectaron las muestras, se registraron las coordenadas con un GPS Magellan 610®. Los frutos muestreados se colocaron en bolsas de polipapel estéril previamente etiquetadas y se preservaron en refrigeración para su conservación hasta su análisis en laboratorio.

### **Calidad de los frutos de xoconostle**

#### *Caracterización morfológica y fisicoquímicas del fruto*

La caracterización física de los frutos de xoconostle se realizó con base en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xocconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005) y la Norma Mexicana Productos Alimenticios no Industrializados para uso Humano – Fruta Fresca – Tuna (*Opuntia* spp.) (NMX-FF-030-SCFI-2006). De cada fruto se midió, con un Vernier Mitutoyo Absolute Digimatic Caliper®, el diámetro longitudinal (*DL*), ecuatorial (*DE*), del mesocarpio (*DME*), del pedúnculo (*LP*), la cicatriz del receptáculo (*DiaCR*), la depresión de la cicatriz del receptáculo, del pedúnculo (*DCR*) y el espesor de la cáscara (*EC*). Asimismo, se registró la densidad de areólas (*DA*), el número de glóquidas por areola (*NG*), de semillas desarrolladas (*NSD*) y presencia de semillas abortivas (*PSA*), también se observó el color de glóquidas (*CG*), la uniformidad del color de la superficie del fruto (*UCS*), la firmeza (*FP*), jugosidad de la pulpa (*JP*), color de pulpa (*CP*) y forma del fruto (*FF*). El peso del fruto (*PFC*) se obtuvo con una balanza analítica Citizen®. Posteriormente, los frutos se disectaron y se determinó el peso de cáscara (*PC*), peso de pulpa (*PP*) y peso de semillas (*PS*). El porcentaje de grados brix (°Brix) se determinó con un refractómetro HANNA Instruments® y de cada disección del fruto se midió el pH con un potenciómetro Conductronic pH 120®.

### *Contenido nutricional del fruto*

Dentro de la caracterización química, se determinó el valor nutrimental de los frutos con base en la técnica de Análisis Químico Proximal de la Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (AOAC, 1995). Para su análisis nutrimental, los frutos se disectaron en cáscara, pulpa y semillas. La determinación de humedad se basó en la evaporación del agua mediante calor (AOAC, 1995). Las muestras se colocaron en charolas de aluminio en una estufa Riossa® a temperatura constante de 55-65 °C durante 24 h. Posteriormente, las muestras se pulverizaron en un molino IKA® y se colocaron en bolsas de plástico estériles previamente etiquetadas.

Para la determinación de cenizas, la muestra se calcinó en una mufla Felisa® a 550 °C (AOAC, 1995). La determinación del extracto etéreo se determinó con éter de petróleo con un extractor de grasa Labconco®. Para determinar proteína cruda, en la digestión y destilación se utilizó un Microkjeldahl Foss®. La fibra cruda se determinó por el método de Weende mediante una digestión ácida y una digestión alcalina, en un extractor de fibra Labconco®.

### **Análisis estadístico**

Los resultados se analizaron con el paquete estadístico Journal of Mathematical Physics (programa JMP V8). Se determinó la normalidad de las variables con la prueba de Anderson-Darling. Para probar las diferencias entre las medias de los frutos, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA), en la comparación de medias se utilizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p \leq 0.05$ .

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización física de los frutos

Los valores promedio de las variables medidas de las características morfológicas de los frutos de *O. joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero (*DL*, *DE*, *DiaCR*, *DME*, *LP*, *DCR* y *EC*) mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ) (Tabla 1). El *DL* de los frutos de xocostle fue estadísticamente mayor en el Sitio 2Ch-S (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (67.40 mm) (Tabla 1), valor que fue superior a lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en frutos de xocostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (59.00 mm), al igual a lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en la variedad de xocostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) del estado de Zacatecas (55.7 mm). Asimismo Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) publicaron un valor de 44.50 mm en frutos de *O. joconostle* silvestres del estado de Hidalgo; también Morales (2009) reportó el diámetro longitudinal promedio de 42.5, 45.4 y 44.6 mm en frutos de *O. matudae* Cuaresmero de Hidalgo, Estado de México y Puebla. Finalmente, el valor más bajo para esta característica fue publicado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en frutos de xocostle *O. matudae* Cuaresmero del estado de Guanajuato (40.0 mm).

**Tabla 1. Características morfométricas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *Opuntia joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero**

Sitio	DL <sup>1</sup>	DE <sup>2</sup>	DiaCR <sup>3</sup>	DME <sup>4</sup>	LP <sup>5</sup>	DCR <sup>6</sup>	EC <sup>7</sup>
	(mm)						
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	54.16 ± 6.95 <sup>b</sup>	44.72 ± 5.94 <sup>b</sup>	24.19 ± 3.12 <sup>c</sup>	12.85 ± 1.98 <sup>a</sup>	13.38 ± 2.75 <sup>b</sup>	6.76 ± 1.51 <sup>a</sup>	0.11 ± 0.03 <sup>b</sup>
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O.</i> <i>joconostle</i> cv. Burro)	67.40 ± 5.85 <sup>a</sup>	52.34 ± 2.99 <sup>a</sup>	29.36 ± 2.56 <sup>a</sup>	13.57 ± 1.64 <sup>a</sup>	13.04 ± 0.96 <sup>b</sup>	5.35 ± 0.87 <sup>b</sup>	0.25 ± 0.11 <sup>a</sup>
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O.</i> <i>joconostle</i> cv. Burro)	55.77 ± 4.31 <sup>b</sup>	44.12 ± 2.07 <sup>b</sup>	26.19 ± 2.13 <sup>b</sup>	12.99 ± 1.38 <sup>a</sup>	10.78 ± 1.21 <sup>c</sup>	4.56 ± 1.21 <sup>b</sup>	0.14 ± 0.03 <sup>b</sup>
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	59.29 ± 2.77 <sup>b</sup>	48.75 ± 2.84 <sup>ab</sup>	26.12 ± 2.20 <sup>bc</sup>	8.21 ± 0.78 <sup>b</sup>	15.87 ± 1.48 <sup>a</sup>	5.12 ± 1.14 <sup>b</sup>	0.11 ± 0.01 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Diámetro longitudinal; <sup>2</sup>Diámetro ecuatorial; <sup>3</sup>Diámetro de la cicatriz del receptáculo;

<sup>4</sup>Diámetro del mesocarpio; <sup>5</sup>Longitud del pedúnculo; <sup>6</sup>Depresión de la cicatriz del receptáculo;

<sup>7</sup>Espesor de cáscara.

\*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05).

El *DE* de los frutos de xoconostle fue mayor en el Sitio 2Ch-S (52.34 mm) e igual al Sitio 4Hu-C (Tabla 1), con una diferencia estadística significativa respecto al Sitio 1Ch-C (cultivo de *O. matudae* cv. Cuaresmero) (44.72 mm) y al Sitio 3TA-S (plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro) (44.12 mm). Los valores del diámetro ecuatorial observados en los tres sitios fueron inferiores a lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (77.80 mm). Valores superiores al Sitio 1Ch-C y Sitio 3TA-S reportaron Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en la variedad de xoconostle silvestre "Sainero" (*O. matudae*) de Zacatecas (46.79 mm); también Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores superiores a estos dos sitios en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero del Estado de México y Puebla (45.0 mm en ambos). De la misma manera, Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) en el Estado de México y Puebla (45.4 y 44.6 mm, respectivamente) con respecto al Sitio 1Ch-C y Sitio 3TA-S.

El *DiaCR* fue estadísticamente mayor en el Sitio 2Ch-S (29.36 mm), en comparación con el Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C, donde no existieron diferencias estadísticas significativas, (24.19, 26.19 y 26.12 mm, respectivamente) (Tabla 1), sin embargo, Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron un valor inferior en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (2.98 mm).

El *DME* fue mayor en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S (12.85, 13.57 y 12.99 mm, respectivamente) a diferencia del Sitio 4Hu-C que presentó un valor de 8.21 mm, a la fecha no se han reportado datos relacionados con el diámetro del mesocarpio en frutos de xoconostle *O. joconostle* y *O. matudae* (Tabla 1).

La *LP* fue significativamente mayor en el Sitio 4Hu-C (15.87 mm) y menor en el Sitio 3TA-S (10.78 mm) (Tabla 1), datos similares al Sitio 4Hu-C fueron reportados por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) (14.4 mm). Sin embargo, Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron un valor menor en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo (0.37 mm).

Con base en el Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp.) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005), la depresión de la cicatriz del receptáculo de los frutos de xoconostle tiende a disminuir por el índice de madurez. En este sentido, los frutos evaluados con tendencia a color rosa presentaron diferencias, particularmente los del Sitio 1Ch-C mostraron una *DCR* de 6.76 mm, lo que la caracteriza como fuertemente deprimida. En el Sitio 2Ch-S, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C mostraron una *DCR* de 5.35, 4.56 y 5.12 mm, respectivamente, lo que las caracteriza como moderadamente deprimidas (Tabla 1); estos resultados difieren a lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo, de 0.37 mm con una *DCR* ausente o ligeramente deprimida.

El *EC* fue mayor en el Sitio 2Ch-S (0.25 mm), sin embargo, el Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C no presentaron diferencias estadísticas significativas (0.11, 0.14 y 0.11 mm, respectivamente) (Tabla 1). Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron valores mucho mayores en una nueva variedad de xoconostle silvestre llamada “Sainero” (*O. matudae*.) de Zacatecas (11.4 mm).

El contenido de azúcares totales (°Brix) en los frutos fue mayor en el Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S (6.65 y 6.17%, respectivamente) (Tabla 2); datos similares fueron reportados por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en frutos silvestres de xoconostle “Sainero” (6.3%), así mismo, Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) en el Estado de México (6.32). A diferencia de lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010), quienes presentaron valores inferiores en frutos cultivados de *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (1.10, 1.19 y 1.35%, respectivamente). Los °Brix de los frutos de xoconostle se ven influenciados por las prácticas agronómicas desde el trasplante, deshierbe, fertilización, aporque, podas sanitarias y formación realizadas al cultivo (Zavaleta-Beckler *et al.*, 2001), a diferencia de los frutos de plantas silvestres, donde la manipulación de la cactácea es nula, en consecuencia la fructificación no es alterada y el fruto llega a

término de cosecha. Lo anterior asienta las bases para generar una línea de investigación donde se evalúe color de fruto y °Brix en diferentes etapas de desarrollo de los frutos de plantas cultivadas y silvestres.

El *pHFC* y *pHP* fueron más ácidos en el Sitio 1Ch-C (3.15 y 3.08, respectivamente) (Tabla 2). En este sentido, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron valores similares de *pHFC* al Sitio 1Ch-C en el fruto completo con *pH* de 3.1 en xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). Datos similares al *pH* de pulpa reportaron Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en frutos de *O. matudae* Cuaresmero, cultivados en Guanajuato, Estado de México y Puebla fueron de 3.0, 3.0 y 3.1, respectivamente. En lo que respecta al Sitio 3TA-S, el *pHC* y *pHS* fueron de 3.81 y 2.77, respectivamente; asimismo Morales (2009) reportó valores similares en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) de Hidalgo, Estado de México y Puebla con *pHC* de 3.71, también reportó valores similares al Sitio 1Ch-C en el *pHP* (3.0). Sin embargo, el *pHS* de *O. matudae* de estos estados fue menor (4.8) que el Sitio 2Ch-S (5.27), pero mayor que el Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (3.55, 2.77 y 3.52, respectivamente).

El *PFC* fue significativamente mayor en el Sitio 2Ch-S (94.28 g), a diferencia del Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S, donde se observó un peso promedio de 58.83, 60.71 y 67.38 g, respectivamente (Tabla 3), sin embargo, Zavaleta-Beckler *et al.* (2001) reportaron valores superiores al Sitio 2Ch-S en frutos de xoconostle (*O. joconostle* cv Burro) cultivado y con un manejo de fertilización con un peso promedio de 100.4 g. Los mismos autores reportaron valores inferiores en frutos de *O. matudae* cv Blanco con 50.0 g en promedio para los xoconostles cultivados en el municipio de Chapantongo, Hidalgo. Asimismo, mencionan que los frutos de xoconostle con fertilización orgánica desarrollan un tamaño mayor, a diferencia de los frutos no fertilizados. De la misma manera, Morales (2009) reportó valores inferiores en frutos de xoconostle Cuaresmero (*O. matudae*) del estado de Hidalgo con 41.43 gramos.

**Tabla 2. °Brix y pH de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero**

Sitio	°Brix (%)	pHC <sup>1</sup>	pHS <sup>2</sup>	pHP <sup>3</sup>	pHFC <sup>4</sup>
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	5.58 <sup>c</sup>	4.14 <sup>c</sup>	3.55 <sup>b</sup>	3.08 <sup>c</sup>	3.15 <sup>d</sup>
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	6.65 <sup>a</sup>	4.40 <sup>a</sup>	5.27 <sup>a</sup>	3.13 <sup>b</sup>	3.19 <sup>b</sup>
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	6.17 <sup>ab</sup>	3.81 <sup>d</sup>	2.77 <sup>c</sup>	3.70 <sup>a</sup>	3.17 <sup>c</sup>
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	5.41 <sup>bc</sup>	4.34 <sup>b</sup>	3.52 <sup>b</sup>	3.12 <sup>b</sup>	3.33 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>pH de cáscara; <sup>2</sup>pH de semillas; <sup>3</sup>pH de pulpa; <sup>4</sup>pH del fruto completo; <sup>5</sup>Desviación estándar.

\*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas (p<0.05).

**Tabla 3. Peso del fruto completo, cáscara, pulpa y semillas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero**

Sitio	PFC <sup>1</sup>	PC <sup>2</sup>	PP <sup>3</sup>	PS <sup>4</sup>
	<b>(g)</b>			
Sitio 1Ch-C (cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	58.83 ± 18.27 <sup>b</sup>	7.30 ± 1.76 <sup>a</sup>	43.50 ± 14.53 <sup>b</sup>	4.29 ± 1.78 <sup>c</sup>
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	94.28 ± 16.26 <sup>a</sup>	7.92 ± 2.32 <sup>a</sup>	69.34 ± 11.84 <sup>a</sup>	6.95 ± 1.59 <sup>b</sup>
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	60.71 ± 7.95 <sup>b</sup>	4.75 ± 1.71 <sup>b</sup>	46.54 ± 6.15 <sup>b</sup>	4.49 ± 1.09 <sup>c</sup>
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	67.38 ± 8.49 <sup>b</sup>	8.00 ± 1.04 <sup>a</sup>	44.53 ± 5.34 <sup>b</sup>	11.93 ± 2.89 <sup>a</sup>

<sup>1</sup> Peso del fruto completo; <sup>2</sup>Peso de cáscara; <sup>3</sup>Peso de pulpa; <sup>4</sup>Peso de semillas; <sup>5</sup>Desviación estándar.

\* Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

El PC fue significativamente mayor ( $p < 0.0001$ ) en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 4Hu-C (7.30, 7.92 y 8.00 g, respectivamente), con respecto al Sitio 3TA-S (4.75 g) (Tabla 3). Sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron valores promedio de 9.8 g en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*), dato superior a los cuatro sitios evaluados.

El *PP* fue de 69.34 g para el Sitio 2Ch-S, donde se observó una diferencia estadística significativa de  $p < 0.0001$  respecto al Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (43.50, 46.54 y 44.53 g, respectivamente) (Tabla 3), sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron un peso promedio mayor (54.1 g) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

El *PS* fue significativamente mayor ( $p < 0.0001$ ) en el Sitio 4Hu-C (11.93 g) con respecto a los otros sitios (4.29 y 4.49 g). Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron pesos de 9.8 g, inferiores al sitio 4 en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). La *FP* de los frutos de xoconostle, de acuerdo al Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal tunero y Xoconostle (*Opuntia* spp) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2005), se caracterizó como Firme para los cuatro sitios (Tabla 4). Esta característica de Firmeza concuerda con lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). La firmeza de la pulpa de los frutos se ve alterada por las condiciones de manejo después de la cosecha. En este sentido, los factores abióticos limitan la calidad de la pulpa. De aquí la importancia de mantener las muestras en condiciones secas y obscuridad total, y realizar las evaluaciones un lapso no mayor a 24 horas.

La *JP* de los frutos de xoconostle se caracterizó como Media en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S, a diferencia del Sitio 4Hu-C que se describió como Alta (Tabla 4). Sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron la jugosidad de la pulpa como Seca a Semiseca en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). En esta investigación se cosecharon frutos de cáscara verde y rosa para comparar la *JP*, se observó que los frutos de cáscara verde no presentaban jugosidad, a diferencia de los frutos de coloración rosa. Por lo que se sugiere que la cosecha del fruto sea cuando adquiere esta pigmentación, de lo contrario la *JP* se ve afectada. Además, las prácticas agronómicas juegan un papel importante en la expresión de la calidad del fruto (jugosidad), particularmente en el Sitio 4Hu-C el manejo del cultivo es intensivo.

El NG y el CG en los frutos de los diferentes sitios evaluados se determinaron como Medio y Amarillo, respectivamente (Tabla 4). Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron el número de glóquidas Bajo, sin embargo, coinciden en el color de glóquidas en frutos silvestres de *O. joconostle* Ulapa de Hidalgo.

**Tabla 4. Características físicas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero**

Sitio	FP <sup>1</sup>	JP <sup>2</sup>	NG <sup>3</sup>	CG <sup>4</sup>	NSD <sup>5</sup>	PSA <sup>6</sup>
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	Firme	Media	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 2Ch-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 3TA-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas
Sitio 4Hu-C (Cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Firme	Alta	Medio	Amarillo	Bajo	Pocas

<sup>1</sup>Firmeza de pulpa; <sup>2</sup>Jugosidad de pulpa; <sup>3</sup>Número de glóquidas; <sup>4</sup>Color de glóquidas; <sup>5</sup>Número de semillas desarrolladas; <sup>6</sup>Presencia de semillas abortivas.

\*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

El *NSD* de los frutos evaluados fue Bajo para los cuatro sitios (Tabla 4), a diferencia de lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014), quienes afirman que el número de semillas desarrolladas en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo fue clasificado como Muy Bajo. De la misma manera, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron Pocas Semillas desarrolladas en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *PSA* en frutos de xoconostle para el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 4Hu-C fueron Pocas, a excepción del Sitio 3TA-S que fue catalogado como Muy Pocas (Tabla 4). El resultado de este último sitio concuerda con lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo.

La *UCS* de los frutos de xoconostle fue considerada como Irregular en los cuatro sitios estudiados (Tabla 5), este dato coincide con lo reportado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo, sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron la *UCS* como Uniforme en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*).

La *DA* de los frutos de xoconostle fue clasificada como Media para el Sitio 2Ch-S, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (Tabla 5); Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportan la misma clasificación (Media) en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*). Asimismo, Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron datos similares en frutos de *O. joconostle* silvestres en Hidalgo.

**Tabla 5. Uniformidad del color de la superficie y densidad de aréolas de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero**

Sitio	UCS <sup>1</sup>	DA <sup>2</sup>	CP <sup>3</sup>	FF <sup>4</sup>
Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)	Irregular	Baja	Amarillo	Elíptica
Sitio 2Ch-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio 3TA-S (silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Irregular	Media	Verde	Elíptica
Sitio 4Hu-C (cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)	Irregular	Media	Amarillo	Oboval

<sup>1</sup>Uniformidad del color de la superficie; <sup>2</sup>Densidad de aréolas; <sup>3</sup>Color de pulpa; <sup>4</sup>Forma del fruto.

\*Literales diferentes entre las columnas indican diferencias estadísticas significativas ( $p \leq 0.05$ ).

El CP de los frutos estudiados fue caracterizado como Amarillo para el Sitio 1Ch-C y Sitio 4Hu-C, sin embargo, en el Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S se observó de color Verde medio (Tabla 5), a diferencia de lo reportado por Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) quienes observaron en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) una tonalidad Rosa.

La FF de xoconostle evaluados fue determinada como Elíptica en el Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S, a diferencia del Sitio 4Hu-C, donde se observaron frutos de forma Oboval (Tabla 5). Asimismo Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) reportaron datos similares al Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-S y Sitio 3TA-S en frutos de *O. joconostle* silvestres de Hidalgo, sin embargo, Gallegos-Vázquez *et al.* (2014) reportaron que en frutos silvestres de xoconostle "Sainero" (*O. matudae*) la Forma del Fruto es Oboval.

En los parámetros de calidad considerados durante la evaluación de los frutos de xoconostle que mostraron diferencias significativas ( $p < 0.0001$ ) destacan las variables diámetro longitudinal, cicatriz del receptáculo, pH de cáscara y semillas, peso del fruto completo y pulpa, porcentaje de °Brix. (Tabla 1, 2, 3, respectivamente).

## Caracterización química del fruto

### **Análisis Químico Proximal**

Los resultados del Análisis Químico Proximal (Tabla 6) de la cáscara, pulpa y semillas de los frutos de xoconostle, expresados en base seca, mostraron diferencias estadísticas significativas ( $p < 0.0001$ ) para cada una de las determinaciones químicas. Los porcentajes de humedad en pulpa, la proteína, ceniza y fibra en semillas fueron más altos, respecto al extracto etéreo en pulpa.

## **Humedad**

El contenido de humedad fue significativamente mayor ( $p < 0.0001$ ) en las semillas de xoconostle del Sitio 3TA-S (94.86%). Datos inferiores reportaron Morales *et al.* (2012) para semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa (73.95 y 60.44%, respectivamente), sin embargo, Prieto-García *et al.* (2006, 2016) reportaron porcentajes de 3.97, 4.09 y 3.55% en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica*, respectivamente, porcentajes mucho más bajos a los observados en los cuatro sitios.

## **Cenizas**

El porcentaje de cenizas fue mayor en la cáscara de los frutos del Sitio 1Ch-C, Sitio 2Ch-C y Sitio 4Hu-C (15.90, 17.14, y 15.94%, respectivamente), a diferencia del Sitio 3TA-S con un valor inferior (10.46%) (Tabla 6). No obstante, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores de 13.57, 14.04 y 13.70% en cáscara de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla, respectivamente. Los valores inferiores de ceniza se observaron en las semillas del Sitio 1 Ch-e, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (2.40, 2.33 y 2.40%, respectivamente). En este sentido, Prieto-García *et al.* (2006, 2016) también reportaron porcentajes bajos de cenizas en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* del estado de Hidalgo, con 0.95, 1.03 y 1.01%, respectivamente. Sin embargo, Scheinvar *et al.* (2009) registraron valores de ceniza de 19.82% en el fruto completo de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo.

**Tabla 6. Análisis Químico Proximal en BS<sup>1</sup> de frutos de xoconostle cultivados y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro y frutos de *O. matudae* cv. Cuaresmero**

Determinación (%)	Sitio 1Ch-C (Cultivo <i>O. matudae</i> cv. Cuaresmero)			Sitio 2Ch-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)			Sitio 3TA-S (Silvestres de <i>O. joconostle</i> cv. Burro)			Sitio 4Hu-C (Cultivo <i>O. joconostle</i> cv. Burro)		
	C <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>	C <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>	C <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>	C <sup>3</sup>	P <sup>4</sup>	S <sup>5</sup>
<b>Humedad<sup>2</sup></b>	84.04 <sup>bc</sup>	93.01 <sup>b</sup>	48.73 <sup>c</sup>	89.65 <sup>a</sup>	94.27 <sup>a</sup>	63.49 <sup>bc</sup>	86.91 <sup>ab</sup>	67.46 <sup>c</sup>	94.86 <sup>a</sup>	82.32 <sup>c</sup>	93.21 <sup>b</sup>	71.88 <sup>b</sup>
<b>Proteína</b>	3.10 <sup>c</sup>	2.33 <sup>b</sup>	3.53 <sup>d</sup>	3.61 <sup>b</sup>	0.58 <sup>d</sup>	14.24 <sup>a</sup>	4.13 <sup>a</sup>	3.03 <sup>a</sup>	7.92 <sup>b</sup>	2.65 <sup>d</sup>	1.78 <sup>c</sup>	5.74 <sup>c</sup>
<b>Extracto etéreo</b>	2.40 <sup>a</sup>	1.68 <sup>a</sup>	10.01 <sup>b</sup>	1.36 <sup>bc</sup>	0.85 <sup>a</sup>	8.20 <sup>c</sup>	1.56 <sup>b</sup>	1.35 <sup>a</sup>	14.85 <sup>a</sup>	1.27 <sup>c</sup>	0.81 <sup>a</sup>	6.21 <sup>d</sup>
<b>Ceniza</b>	15.90 <sup>a</sup>	12.74 <sup>a</sup>	2.40 <sup>b</sup>	17.14 <sup>a</sup>	12.22 <sup>a</sup>	3.56 <sup>a</sup>	10.46 <sup>b</sup>	9.07 <sup>b</sup>	2.33 <sup>b</sup>	15.94 <sup>a</sup>	13.20 <sup>a</sup>	2.40 <sup>b</sup>
<b>Fibra</b>	22.39 <sup>b</sup>	10.25 <sup>a</sup>	53.91 <sup>a</sup>	25.03 <sup>a</sup>	7.64 <sup>b</sup>	55.27 <sup>a</sup>	24.89 <sup>a</sup>	7.15 <sup>b</sup>	34.58 <sup>c</sup>	26.84 <sup>a</sup>	9.30 <sup>ab</sup>	48.12 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Base Seca; <sup>2</sup>Base Húmeda; <sup>3</sup>Cáscara; <sup>4</sup>Pulpa; <sup>5</sup>Semilla.

\*Literales diferentes entre filas indican diferencias estadísticas Significativas  $p < 0.0001$ .

## Proteína

El porcentaje de proteína fue significativamente mayor ( $p < 0.0001$ ) en las semillas del Sitio 2Ch-C (14.24%), respecto al Sitio 1Ch-C, Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C. Datos inferiores reportaron Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en las semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla, con 6.84, 7.22 y 8.16%, respectivamente. Este dato difiere con lo reportado por Morales *et al.* (2012), quienes determinaron porcentajes de 2.12 y 3.45% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa. De la misma manera, Prieto-García *et al.* (2006, 2016) reportaron porcentajes

inferiores en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* de Hidalgo, con 2.10, 0.64 y 0.97%, respectivamente. Sin embargo, el porcentaje de proteína más bajo se observó en la pulpa de frutos de xoconostle de los cuatro sitios evaluados (2.33, 0.58, 3.03 y 1.78%, respectivamente) con una diferencia estadística significativa de  $p < 0.0001$ , entre ellos. El porcentaje de proteína en pulpa del Sitio 4Hu-C se asemeja con lo reportado por Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero de Guanajuato, Estado de México y Puebla, con 1.63, 1.78 y 1.66%, respectivamente. Asimismo, los porcentajes de proteína en pulpa del Sitio 2Ch-C se asemejan con lo reportado por Morales *et al.* (2012) en los porcentajes de proteína en pulpa de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo (0.66 y 0.56% respectivamente). Sin embargo, Scheinvar *et al.* (2009) determinaron porcentajes de 7.42% de proteína en el fruto completo de *O. joconostle* F.A.C. Weber.

### **Extracto etéreo**

El porcentaje de extracto etéreo más alto fue de 14.85% en semillas de frutos del Sitio 3TA-S, con una diferencia estadística significativa de  $p < 0.0001$  (Tabla 6). Este dato difiere con lo reportado por Prieto-García *et al.* (2006, 2016) en semillas de frutos de *O. heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* en Hidalgo (16.99, 19.24 y 17.22%, respectivamente). Sin embargo, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores menores al Sitio 3 TA-S con 7.23, 8.10 y 7.15%, respectivamente, en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla. Asimismo Morales *et al.* (2012) reportaron valores menores, con 2.45 y 3.52% en semillas de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo. A diferencia del extracto etéreo observado en las semillas del Sitio 3TA-S, el valor menor se determinó en la pulpa de los frutos de los cuatro sitios evaluados con 1.68,

0.85, 1.35 y 0.81 %, respectivamente. No obstante, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron porcentajes superiores en la pulpa de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (5.05, 5.19 y 5.28 %, respectivamente). A diferencia de lo reportado por Scheinvar *et al.* (2009) con 10.42 % en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber de Hidalgo.

### **Fibra**

El porcentaje de fibra más alto se observó en las semillas de los frutos del Sitio 1 Ch-C y Sitio 2 Ch-S con 53.91 y 55.27 %, respectivamente, con una diferencia estadística significativa de  $p < 0.0001$  respecto al Sitio 3TA-S y Sitio 4Hu-C (Tabla 6). Datos inferiores reportaron Prieto-García *et al.* (2006, 2016) en semillas de frutos de *O. Heliabravoana*, *O. joconostle* y *O. ficus-indica* de Hidalgo, con 3.02, 2.56, 2.66 %, respectivamente. Sin embargo, Guzmán-Maldonado *et al.* (2010) reportaron valores más bajos en semillas de frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero en Guanajuato, Estado de México y Puebla (0.95, 0.93 y 1.02 %, respectivamente). Asimismo, Morales *et al.* (2012) reportó valores inferiores en semillas (19.22 y 30.17 %, respectivamente) y pulpa (2.31, 1.74 %, respectivamente) de frutos cultivados de *O. joconostle* F.A.C. Weber y *O. matudae* Scheinvar cv. Rosa en Hidalgo. A diferencia de lo reportado por Scheinvar *et al.* (2009) en frutos de *O. joconostle* F.A.C. Weber en Hidalgo con 9.66 %. De acuerdo con Álvarez y Peña (2009), la calidad de los frutos de xoconostle, con base en el contenido de fibra presente, es una alternativa como suplemento para prevenir enfermedades crónicas, además, Morales (2009) sugiere que la calidad de fibra presente en frutos de xoconostle *O. matudae* Cuaresmero pueden ser diferente debido a las etapas de maduración de la fruta.

Las características físicas de los frutos se analizaron con un intervalo de confianza de  $p \leq 0.05$ . Los parámetros de calidad que presentaron

valores mayores en los frutos de plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, de Chapantongo fueron el *DL*, *DiaCR*, °*Brix*, *pHC*, *pHS*, *PFC*, *PP*, porcentaje de humedad en pulpa, proteína en semillas, cenizas en semillas, a diferencia de los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo, quienes mostraron valores inferiores en *DL*, *pHC*, *pHP*, *pHFC*, la *JP*, la *DA*, el porcentaje de proteína en cáscara, pulpa y semillas, el extracto etéreo de cáscara y semillas, así como el porcentaje de fibra en cáscara.

## CONCLUSIONES

Los frutos de xoconostle cultivados y silvestres *Opuntia joconostle* cv. Burro y *O. matudae* cv. Cuaresmero del estado de Hidalgo mostraron diferencias estadísticas significativas entre sitios.

Los frutos de plantas de xoconostle silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, del municipio de Chapantongo presentaron mejor calidad en los parámetros morfométricos, físicos y contenido nutricional, y los frutos de xoconostle *O. matudae* cv. Cuaresmero presentaron parámetros de calidad inferiores a la media general.

Las características físicas y morfométricas con valores que sobresalieron de la media, se observaron en el diámetro longitudinal y de la cicatriz del receptáculo, pH de cáscara y semillas, peso del fruto completo y pulpa porcentaje de °*Brix*, humedad en pulpa, proteína en semillas y cenizas en las semillas de los frutos de plantas silvestres de *O. joconostle* cv. Burro, del municipio de Chapantongo.

Los frutos cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero del sitio de Chapantongo mostraron valores inferiores en el diámetro longitudinal, pH de cáscara, pH de pulpa, pH del fruto completo, jugosidad de la pulpa, densidad de aréolas, el porcentaje de proteína en cáscara, pulpa y semillas, extracto etéreo de cáscara y semillas y fibra en cáscara. El contenido nutricional de los frutos de xoconostle silvestres de *O. joconostle* cv.

Burro, del municipio de Chapantongo, presentaron valores superiores de humedad en pulpa; proteína en semillas; cenizas en semillas. Las semillas de los frutos de xoconostle del sitio de Tula de Allende presentaron valores superiores en humedad y extracto etéreo. Estos frutos presentan un gran potencial económico debido a sus múltiples usos como alimento, propiedades medicinales y terapéuticas.

Los frutos de xoconostle cultivados de *O. matudae* cv. Cuaresmero de Chapantongo, y silvestres de *O. joconostle* cv. Burro de Huichapan mostraron valores inferiores de humedad y cenizas en semillas y extracto etéreo en pulpa.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecemos a los productores que nos facilitaron trabajar en sus cultivos para llevar a cabo la presente investigación. Asimismo a la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, por proporcionarnos las instalaciones, materiales y equipos, así como a la maestría en Ciencias Agropecuarias de la UAM-X.

## BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, A. y B. Peña, 2009, "Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages", en *Journal of Professional Association of Cactus Development*, 11:26-44.
- AOAC, 1995, *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist*, Vols. I y II. K., Herlich (ed.), AOAC International, Minneapolis, MN.
- Bravo, H. y H. Sánchez, 1991, *Las Cactáceas de México*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.

- Bravo, H. y L. Scheinvar, 1995, *El interesante mundo de las cactáceas*, Fondo de Cultura Económica, México.
- Fierro, A. *et al.*, 2006, *Cultivo del Nopal Verdura (Opuntia ficus-indica (L.) Mill.) en el sur del Distrito Federal*, Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Gallegos, C. *et al.*, 2005, *Manual Gráfico para la Descripción Varietal del Nopal Tunero y Xoconostle (Opuntia spp.)*, Sagarpa, México.
- Gallegos, C. *et al.*, 2014, "Sainero: new variety of xoconostle for the northern región of central Mexico", en *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(6): 1125-1131.
- GEH, Gobierno del estado de Hidalgo, 2011, *Enciclopedia de los municipios del estado de Hidalgo: Chapantongo*, Gobierno del Estado de Hidalgo, Secretaría de Planeación Desarrollo Regional y Metropolitano, Pachuca de Soto, México.
- Guzmán-Maldonado, S. *et al.*, 2010, "Physicochemical, Nutritional, and Functional Characterization of fruits Xoconostle (*Opuntia matudae*) Pears from Central-México Region", en *Journal of Food Science*, 75(6): C485-C492.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2016, *Anuario Estadístico y Geográfico de Hidalgo*, INEGI, México.
- Martínez, G. *et al.*, 2012, "Modelación matemática del secado solar del xoconostle", en *Revista Salud Pública y Nutrición*, 2: 339-347.
- Morales, A., 2009, *Caracterización fitoquímica funcional del fruto de xoconostle cuaresmeño (Opuntia matudae), y el efecto de su consumo en parámetros bioquímicos de ratas diabéticas*, tesis de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Química-UAQ, México.
- Morales, P. *et al.*, 2012, "Nutritional and antioxidant properties of pulp and seeds of two xoconostle cultivars (*Opuntia joconostle* F.A.C. Weber ex Diguet and *Opuntia matudae* Scheinvar) of high consumption in Mexico", en *Food Research International*, 46: 279-285.
- Norma Mexicana NMX-FF-030-SCFI-2006, Productos alimenticios no industrializados para uso humano – fruta fresca – tuna (*Opuntia* spp.).

- Olivares, L. *et al.*, 2003, *Xoconostle: biología y manejo agronómico*, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, México.
- Pinedo, J. *et al.*, 2014, "Caracterización morfométrica de 10 genotipos de nopales productores de Xoconostle (*Opuntia* spp.) de Hidalgo y Zacatecas", en *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(2): 71-79.
- Prieto, F. *et al.*, 2006, "Caracterización física y química de semillas de Opuntias (*Opuntia* spp.) cultivadas en el Estado de Hidalgo, México", en *Bioagro*, 18(3): 163-169.
- Prieto, F. *et al.*, 2016, "Chemical and physical characterization of *Opuntia* spp. Sedes grown in Hidalgo State, México", en *Ciencia e Investigación Agraria*, 43(1): 143-150.
- Scheinvar, L. *et al.*, 2001, Estudio bioecológico de los xoconostles mexicanos *Opuntia* spp. y su potencial económico, en Memorias del XV Congreso mexicano de Botánica. Querétaro, México.
- Scheinvar, L. *et al.*, 2011, *Estado del conocimiento de las especies del nopal (Opuntia spp.) productoras de xoconostles silvestres y cultivadas*, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Scheinvar, L. *et al.*, 2009, *Diez Especies Mexicanas de Xoconostles: Opuntia spp. y Cylindropuntia imbricata (Cactácea)*, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), 2015, en *Atlas Agroalimentario*, Sagarpa, México.
- Zavaleta, P. *et al.*, 2001, "Organic fertilization in sour prickly pear (*Opuntia joconostle* and *O. matudae*)", en *Agrociencia*, 35(6): 609-614.

# Estudios de interceptación de lluvia en bosques de importancia hidrológico-forestal

Eulogio Flores Ayala<sup>1</sup>, Fernando Carrillo Anzures, Francisco Becerra Luna, Fabián Islas Gutiérrez, Enrique Buendía Rodríguez, Miguel Acosta Mireles y Tomás Pineda Ojeda

**Resumen.** Se presentan resultados de una línea de investigación que tiene como meta medir las cantidades de lluvia que interceptan cuatro contrastantes comunidades forestales, en las cuencas hidrológico-forestales del Río Amajac y Río Texcoco, en los estados de Hidalgo y México, respectivamente. Se establecieron cuatro módulos de investigación con una superficie de 1.0 ha, el primero, en matorral inerme espinoso a una altitud de 1 920 msnm y tres más en bosques de alta montaña, ubicados en un rango de altitud de 2 850 a 3 650 msnm. En cada parcela, se realizaron mediciones dendrométricas de cada árbol a partir de 7.5 cm de diámetro normal. Durante los periodos de lluvia de los años 2007, 2009, 2010 y 2011, se realizaron mediciones de precipitación, determinándose cantidades de precipitación total y su distribución dentro de cada periodo de lluvia. Para las mediciones de precipitación total, se emplearon dos pluviómetros ubicados fuera de cada parcela. Para las mediciones de interceptación, se utilizaron en promedio 70 pluviómetros de lectura directa distribuidos aleatoriamente bajo dosel. Las mediciones de precipitación-interceptación se registraron por evento de lluvia. Las cantidades de lluvia interceptadas por el dosel de copas del arbolado se expresaron como porcentajes para cada uno de los cuatro grupos estudiados: Matorral (18.6%), oyamel (26.1%), encino (21.7%) y pino (19.2%). Se generaron los modelos estadísticos no lineales de la relación: precipitación total (mm) - lluvia interceptada (%), para cada tipo de bosque.

<sup>1</sup> Centro Experimental Valle de México, instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, e-mail: flores.eulogio@inifap.gob.mx

**Palabras Clave:** *Interceptación de lluvia, dosel, Acacia, Pinus, Quercus, Abies.*

## ANTECEDENTES

La hidrología en ecosistemas arbolados está conformada por complejos procesos en los que interactúan factores bióticos y abióticos. Aun cuando la interceptación de la lluvia por la vegetación no es el principal factor en las estimaciones del balance hidrológico, sí permite identificar que las modificaciones en la cobertura arbórea afectan el balance hidrológico de un área arbolada, alterando el contenido de humedad del suelo, la escorrentía superficial del terreno (Sadeghi *et al.*, 2015) y el patrón de humedad del suelo.

El dosel de la vegetación arbórea regula el flujo que sigue la precipitación antes de llegar al piso forestal, modificando la trayectoria de la caída de las gotas dividiéndola en: lluvia directa, lluvia interfoliar, transcolación, y lluvia de escurrimiento fustal, o escurrimiento cortical. En el proceso de interceptación se reconoce que la vegetación forestal participa en la distribución espacial de la lluvia, alcanzando a la vegetación en los distintos estratos, y una vez que llega al piso forestal, presenta patrones de temporalidad, constituyendo un proceso de gran complejidad debido a los elementos estructurales del bosque y a su interacción con el ambiente (Kittredge, 1948; Dunne y Leopold, 2010).

Aun cuando los bosques no tienen influencia marcada de manera preponderante en los volúmenes de precipitación, su participación no se puede considerar como insignificante, en particular cuando se contabiliza la cantidad y la distribución de la lluvia que llega al piso del bosque (Kittredge, 1948; Dunne y Leopold, 2010); ésta es una de las razones principales por la que diversos estudios de ecología forestal se hayan dirigido a generar relaciones entre la composición y variabilidad espacial de la estructura de los bosques con la interceptación de la lluvia (Flores *et al.*, 2011; Návar, 2017).

Las precipitaciones en ecosistemas forestales se han dividido en precipitación directa (PD), escurrimiento fustal (EF) y pérdida por interceptación (I). Esta clasificación es importante en estudios de hidrología forestal (Marin *et al.*, 2000; Lida *et al.*, 2005): La precipitación neta (PN) es la cantidad de lluvia que llega al suelo, resultado de la adición de la precipitación directa (PD), translocación y el escurrimiento cortical (EF) (Manfroi *et al.*, 2004; Levia y Herwitz, 2005; André *et al.*, 2008). La PD1 es la cantidad de lluvia que llega al piso del bosque pasando a través de las copas de los árboles. La transcolación es el goteo del agua retenida de forma temporal por los componentes generalmente foliares de los árboles, PD2. El EF es la fracción de la lluvia que llega al piso del bosque, deslizándose por los fustes y ramas de los árboles (Staelens *et al.*, 2008; Levia y Germer, 2015), en donde la arquitectura del arbolado y características de la corteza juegan un papel importante (Návar, 1993). Finalmente, la interceptación de lluvia (I) es parte de la precipitación retenida por el dosel de copas que no alcanza el piso del bosque por el humedecimiento de las estructuras forestales, y por la evaporación de la lluvia interceptada durante la precipitación (Taghi *et al.*, 2013). La I se calcula de forma indirecta por la diferencia de la medición de la precipitación bruta (PB), medida por encima del dosel o en un área cercana en el abierto, y la suma de PD1, PD2 y EF (Aussenac, 1981).

$$I = PB - (PD1 + PD2 + EF)$$

De acuerdo con Sadeghi *et al.* (2015) y Návar (2017) para bosques Mexicanos, la interceptación de lluvia puede representar de 14 a 26% de la precipitación total (PB) en bosques montanos, templados, áridos y tropicales.

La interceptación de lluvia y su posterior evaporación afecta al rendimiento hídrico de las cuencas hidrográficas; su estudio es complejo y puede ser altamente variable. A escala sinóptica, los factores climáticos

como la velocidad y la exposición del viento, la intensidad y duración de la lluvia, y la incidencia de niebla, determinan la pérdida de interceptación. A escala local, un control importante de la pérdida de interceptación es la densidad y composición de la vegetación, dentro de las cuales, el área foliar determina la capacidad de la copa para almacenar temporalmente el agua y evaporarla durante o después de la precipitación. Otros factores también participan, como la exposición de la copa, irregularidad y la forma en que penetra el agua de lluvia en el dosel (Fleischbein *et al.*, 2005, Siegert y Levia, 2014).

Los diversos componentes del proceso de interceptación de las lluvias se han medido y modelado para muchos tipos de vegetación, con especial énfasis en los rodales forestales (Návar, 2011, 2013, 2017). Aun cuando estos estudios de medición de la interceptación han sido ampliamente estudiados, resulta conveniente reconocer la importancia de los modelos de interceptación de lluvias para predecir los efectos de los cambios en la cobertura vegetal en los recursos hídricos (David *et al.*, 2005; Návar, 2013). Aparte de permitir la extrapolación de los resultados de las mediciones, tanto en el espacio como en el tiempo, los modelos de interceptación también proporcionan información sobre los mecanismos del proceso de interceptación por la vegetación arbórea y de los atributos que controlan estos procesos (David *et al.*, 2005; Návar *et al.*, 2008). Para el caso de México, Flores *et al.* (2011) hacen una recopilación de los trabajos, en el tema de interceptación, reportados hasta el año 2007, destacando sus aportes por tipo de comunidad arbórea. Návar (2017) recopilan 96 estudios de caso donde aplican cuatro modelos de interceptación para cuatro diferentes tipos de bosque de México.

Dadas las consideraciones descritas, el objetivo de este trabajo fue determinar la cantidad del agua de lluvia retenida por el dosel (follaje), a través de medir el proceso de interceptación de lluvia por el dosel arbóreo, y generar modelos estadísticos de interceptación en cuatro comunidades vegetales forestales en la micro cuenca del Río Amajac,

en el estado de Hidalgo, y en la cuenca del Río Texcoco, en el Estado de México.

## MATERIALES Y METODOS

En 2007, se inició, en el Campo Experimental Valle de México, una línea de investigación en el ámbito de la hidrología forestal en la micro cuenca del Río Amajac, en el estado de Hidalgo, y en la cuenca del Río Texcoco, en el Estado de México, orientada al estudio de la interceptación del agua de lluvia por la cobertura arbórea, seleccionándose cuatro tipos distintos, mismos que fueron estudiados en años diferentes: matorral inerme espinoso, localizado a 1960 msnm; bosque de *Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham, localizado a 3000 msnm; bosque de *Quercus spp.*, ubicado a 2900 msnm y, finalmente, bosque de *Pinus hartwegii* Lindl., localizado a 3650 msnm (Figura 1).

**Figura 1. Tipos de vegetación en las cuatro áreas de estudio**



a) Matorral inerme espinoso



b) *Quercus spp*

c) *Abies religiosa*d) *Pinus hartwegii*

La vegetación en cada parcela, estrato arbóreo y sotobosque fue identificada mediante colectas botánicas, en el Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. El diseño de los módulos consistió en parcelas de 1.0 ha (100 x 100 m) en donde se tomó información de campo de las especies arbóreas dominantes y se realizaron mediciones de variables dendrométricas: diámetro a la altura del pecho, medida con cinta diamétrica, con aproximación al centímetro; altura total y altura de fuste limpio, medida con clinómetro Suunto; ubicación de cada árbol dentro de cada parcela y de los pluviómetros, con aproximación al decímetro, utilizando coordenadas cartesianas. Adicionalmente, se tomaron mediciones del desnivel del terreno para generar su relieve.

Para conocer la cantidad de precipitación total anual y su distribución, para cada tipo de bosque, se tomaron mediciones de la precipitación diaria en condiciones abiertas. Para la medición de la cantidad de lluvia interceptada, en cada módulo, se dispuso de una distribución aleatoria de 75 pluviómetros de lectura directa (Tru-Chek®) bajo el dosel, equipo con una precisión de 0.1 mm, colocados a una altura de 0.9 m sobre el nivel del piso para evitar el efecto de salpicado (Prasad *et al.*, 2017). Basándose en Xiao *et al.* (2000) y Sadeghi *et al.* (2015), el procedimiento para expresar la cantidad de lluvia interceptada fue mediante la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua de los colectores, localizados bajo el dosel de la vegetación por cada evento de lluvia.

El estudio inició en el 2007 y 2008, con Matorral inerme espinoso, seguida con Bosques de Oyamel en 2009, continuándose en 2010 con Encino, y concluyéndose en 2011 con Pino. Este procedimiento permitió generar los valores de interceptación para cada especie por evento de precipitación y precipitación total anual. En este estudio no se cuantificó el escurrimiento fustal, porque éste generalmente representa un bajo porcentaje del componente de interceptación, el cual, según datos, puede ser menor a 5% (Levia y Germer, 2015; Asadian y Weiler, 2009). Con base en la dispersión de puntos se analizó la relación de la precipitación total, contra el porcentaje de interceptación. Con el fin de correlacionar estadísticamente los valores de precipitación y de interceptación, para cada tipo de vegetación, de manera independiente se ajustaron, mediante análisis de regresión, modelos no lineales (Hosseini *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2015). Los criterios de selección de los mejores modelos ajustados incluyeron el coeficiente de determinación y significancia de los parámetros de regresión. El análisis estadístico se realizó en el programa SAS® (SAS, 2007).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características de sitio, precipitación media anual y vegetación dominante

Las características generales, en cuanto a la localización de los distintos sitios, se reportan en el Cuadro 1, en el cual se presenta información sobre la especie dominante, localidad, paraje, altitud y el año en que se realizó el estudio.

**Cuadro 1. Localización de los cuatro módulos de investigación, nombre del paraje y año de establecimiento**

MÓDULO	Localización	Paraje	Coordenadas	Año
Matorral Inerme Espinoso	La Estancia, Atotonilco el Grande, estado de Hidalgo.	La Laja: 1,920 m snm	20° 17' 37.02" 98° 42' 14.17"	2007
Oyamel	Ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México.	Atlapulco: 3,000 m snm	19° 26' 16.92" 98° 45' 40.81"	2009
Encino	Ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México.	Tlatzala: 2,900 m snm	19° 27' 09.11" 98° 46' 19.23"	2010
Pino	Ejido de San Pablo Ixayoc, Texcoco, Estado de México.	Cañada Honda: 3,650 m snm	19° 25' 09.85" 98° 44' 15.51"	2011

**Cuadro 2. Características dasométricas de la vegetación para cada módulo de investigación.**

<b>MÓDULO</b>	<b>Número de árboles/ ha</b>	<b>Diámetro promedio (cm)</b>	<b>Altura promedio (m)</b>	<b>Área basal (m<sup>2</sup>/ha)</b>
<b>Matorral Inerme Espinoso <sup>1</sup>:</b>	<b>367</b>	<b>6.12</b>	<b>3.76</b>	<b>6.32</b>
<i>Acacia farnesiana</i> (huizache)	244	4.54	3.32	1.31
<i>Eysenhardtia polystachya</i> (palo dulce)	68	4.72	4.02	0.34
<i>Juniperus flaccida</i> (enebro)	55		5.54	4.67
<i>Opuntia</i> sp (nopal)	27	15.14		
<b>Oyamel <sup>1</sup>:</b>	<b>369</b>	<b>29.60</b>	<b>22.10</b>	<b>33.98</b>
<i>Abies religiosa</i> (oyamel)	315	31.83	24.22	32.36
<i>Garrya laurifolia</i> (aguacatillo)	36	14.28	8.01	0.62
<i>Quercus rugosa</i> (encino)	10	20.35	13.55	0.34
<i>Cupressus lindleyi</i> (cedro)	4	33.75	12.87	0.49
<i>Prunus serotina</i> Sub. (capulín)	3	15.17	11.16	0.06
<i>Pinus</i> sp	1	37.50	26.00	0.11

<b>Encino <sup>1</sup>:</b>	<b>807</b>	<b>11.00</b>	<b>5.52</b>	<b>10.71</b>
<i>Quercus rugosa</i> (hoja ancha)	352	10.30	5.47	4.02
<i>Quercus deserticola</i> (hoja ancha)	397	11.81	5.50	5.86
<i>Quercus laurina</i> (laurelillo)	10	9.15	7.15	0.07
<i>Quercus laurina</i> (laurelillo)	42	7.80	5.04	0.28
<i>Arbutus tesellata</i> (madroño)	2	8.40	4.75	0.01
<i>Garrya laurifolia</i> (aguacatillo)	4	32.35		0.45
<i>Cupressus lindleyi</i> (cedro)			13.00	
<b>Pino <sup>1</sup>:</b>	<b>133</b>	<b>43.83</b>	<b>21.44</b>	<b>23.26</b>
<i>Pinus hartwegii</i>				

1/ Identificación taxonómica realizada por el Dr. Enrique Guizar Nolasco. Herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo.

Para el caso de Matorral, *Pinus*, *Abies* y *Quercus*, se midieron 44, 72, 74 y 63 eventos de precipitación, respectivamente. Los resultados indican que para Matorral se reporta una precipitación acumulada anual de 866.70 mm, para el bosque de *Pinus hartwegii* se presentó una precipitación de 680.20 mm, en el bosque de *Abies religiosa* de 707.70 mm y para el bosque de *Quercus* spp de 503.00 mm. Los rangos de variación por evento fueron: *Pinus* de 0.2-23.5 mm, *Abies* de 0.2-33 mm y *Quercus* de 0.2-38 mm. Para el caso de *Pinus* y *Abies*, se presentaron datos atípicos, el primero de 82 mm y el segundo de 62 mm, respectivamente.

## Medidas de Interceptación de lluvia

Para realizar la medición de las cantidades de lluvia durante el proceso de interceptación, el número de registros de los eventos de lluvia medidos variaron en cantidad, siendo éstos los eventos significativos para estos años en la zona de estudio.

El procedimiento de cálculo consistió en medir la cantidad de lluvia interceptada, tomando la diferencia entre la precipitación total medida en condiciones abiertas y el promedio general obtenido del volumen del agua de los colectores, localizados bajo el dosel de la vegetación por cada evento de lluvia, expresada como porcentaje de la precipitación total.

$$I = P_t - P_{bd}$$

Donde;

$I$  = Cantidad de lluvia interceptada

$P_t$  = Cantidad de precipitación total medida en áreas aledañas sin vegetación

$P_{bd}$  = Cantidad de precipitación medida bajo dosel

Se obtuvieron los siguientes resultados. Estos valores se reportan como porcentaje en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Resultados de las medidas de interceptación (%) en los tres módulos de investigación**

Módulo	Año	Precipitación Total Anual (mm)	Altitud (m s.n.m.)	Eventos de lluvia	Intercepción (%)
Matorral	2007	866.70 <sup>1</sup>	1 920	44	18.6
Oyamel	2009	707.70 <sup>2</sup>	3 000	74	26.1
Encino	2010	503.00 <sup>3</sup>	2 850	63	21.7
Pino	2011	680.20 <sup>4</sup>	3 600	72	19.2

Periodos de toma de datos: 1. 17 junio al 31 de diciembre; 2. 22 mayo al 30 de septiembre; 3. 27 mayo al 30 de octubre; 4. 24 junio al 30 de septiembre.

Los porcentajes de lluvia interceptados indican las cantidades de lluvia que se pierden por evaporación al ser interceptada por la cobertura arbolada.

## Generación de Modelos de Interceptación

De acuerdo con la dispersión de puntos de la relación precipitación total contra porcentaje de interceptación, y con el fin de correlacionar estadísticamente estas cantidades de interceptación, se realizó una regresión no lineal utilizando el procedimiento PROC GLM de SAS®.

Se ensayaron modelos de tipo logarítmico y exponencial (Scatena, 1990; Hosseini *et. al.*, 2012; Sadegi *et. al.*, 2015: 20-22.

$$y = a \ln X + b$$

$$y = a X^{-b}$$

donde:

y = Interceptación de lluvia bajo dosel, en porcentaje

X= Precipitación total (en abierto), medida en mm

Ln= logaritmo natural

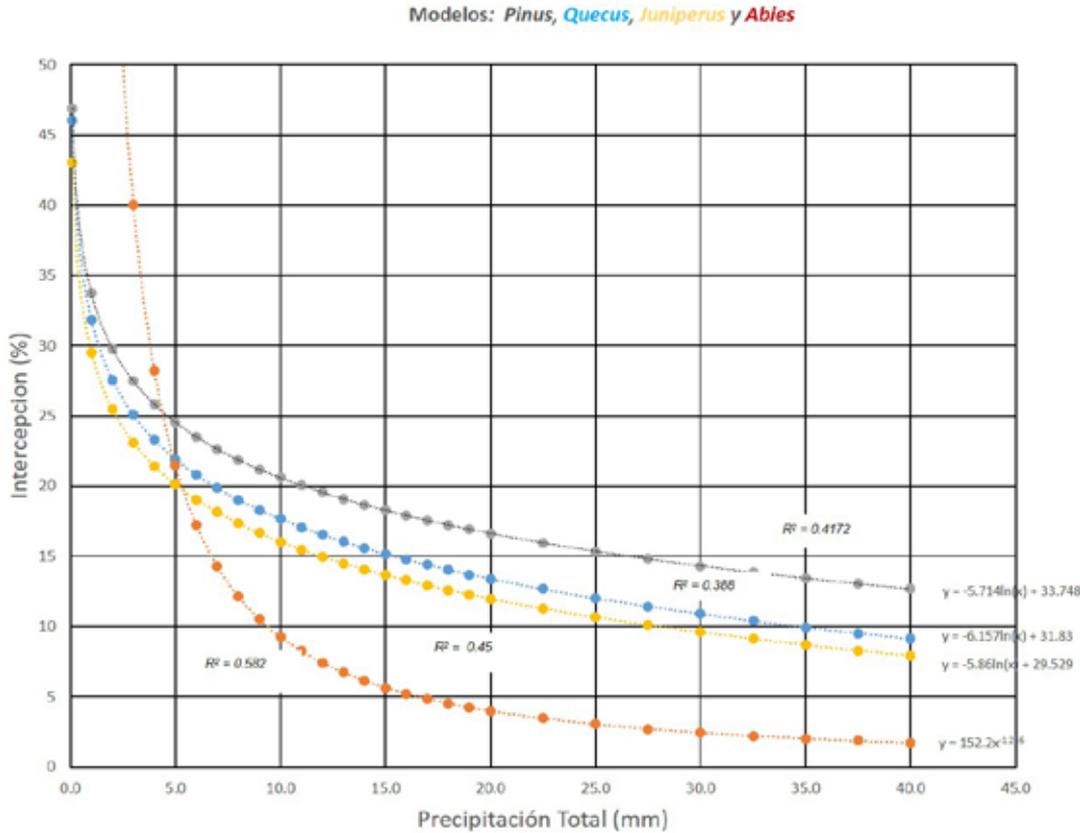
a, b = coeficientes de regresión

Para el análisis estadístico, se utilizó el procedimiento PROC GLM de SAS®. Los modelos obtenidos fueron los siguientes:

#### Cuadro 4. Modelos estadísticos obtenidos para cada especie

Módulo	Modelo	Coefficiente de Determinación
Oyamel	$y = 152.2 X^{-1.216}$	$R^2 = 0.5815$
Matorral	$y = -5.8603 \ln X + 29.529$	$R^2 = 0.4500$
Encino	$y = -6.1571 \ln X + 31.830$	$R^2 = 0.3883$
Pino	$y = -5.7137 \ln X + 33.748$	$R^2 = 0.4172$

Figura 2. Comportamiento gráfico de los modelos de regresión obtenidos para las especies estudiadas



Exponencial negativa para *Abies religiosa* (Kunt) Schltdl. & Cham.; logarítmica negativa para Matorral inerme espinoso, *Pinus hartwegii* Lind. y *Quercus spp.*, de la relación porcentaje de intercepción como función de la precipitación total.

La gráfica anterior muestra el comportamiento de la interceptación de lluvia que refleja una parte de la condición o estructura del bosque en cuanto a las características dasométricas de las especies estudiadas. Por una parte, *Abies* tiende a formar masas de mayor densidad que Matorral, *Pinus* y *Quercus*, y dado su hábito de mantener una gran proporción de índice de área foliar a lo largo del fuste, da por resultado que las cantidades de retención de agua de lluvia de esta especie son mayores que las otras. Lo anterior explica por qué la interceptación en *Abies* sea mayor aun en bajos valores de precipitación total, situación que se refleja en el resultado obtenido.

Por otro lado, aunque el comportamiento de la interceptación es similar en los bosques de Matorral, Encino y Pino, es evidente la mayor curva de interceptación en el bosque de Pino, lo cual puede atribuirse a la mayor densidad en área basal, así como la altura y diámetro promedio en este tipo de asociación. Esta aseveración se refuerza con el comportamiento observado en el bosque de *Abies* con relación a sus variables dasométricas.

Al analizar los porcentajes de interceptación de lluvia en los cuatro casos, se observa que son congruentes con los valores obtenidos en otros bosques templados (Aussenac, 1981) y de matorral (Návar *et al.*, 2008). Aussenac (1981) y Návar *et al.* (2008) reportan valores de interceptación de 21.5% para bosques de *Pinus halepensis*; de 20.4 y 24.9% para *Quercus sessiliflora*, y 18.68% para *Acacia rigidula*, los cuales son congruentes con los observados en el presente estudio, aunque distintos para *Abies*. Valores reportados por Cantú-Silva y González-Rodríguez (2001), para *Quercus*, de 13.5%, localizados en Linares, NL, México, difieren de los encontrados en este estudio, explicable por las distintas condiciones climáticas. De acuerdo con otros estudios, estos resultados son consistentes con la investigación en el tema, en términos del comportamiento de los modelos de interceptación (Hosseini *et al.*, 2012; Sadeghi *et al.*, 2015). Es importante resaltar que los resultados del presente estudio sugieren que otras variables, como la densidad (Kittredge, 1948; Torres-Rojo, 2014) o la

estructura del bosque (Gadow *et al.*, 2011), aquí no analizadas, participan de manera importante en el proceso de interceptación de lluvia, dada por la estrecha dependencia de los atributos del arbolado, su distribución espacial y las características/ dimensiones del dosel.

## CONCLUSIONES

La metodología permitió la generación de resultados propuestos en el objetivo, lográndose obtener cuatro modelos que describen adecuadamente los valores y comportamiento de la interceptación de lluvia para cada especie dominante analizada en el estudio. Las características evaluadas permiten, mediante los modelos propuestos, el pronóstico de los efectos de la cubierta vegetal sobre el ingreso del agua de lluvia en el piso forestal, en la zona de estudio.

No se realizan comparaciones entre modelos dado que los cuatro módulos presentan características distintas en cuanto a especies, altitud, exposición y condiciones microambientales.

De acuerdo con las diferencias estadísticas encontradas en los distintos modelos de interceptación, es posible que otras variables requieran incorporarse al análisis en la modelación del proceso de interceptación de lluvia.

Es necesario ampliar este tipo de estudios a otras regiones forestales y elaborar un programa de monitoreo permanente que permita soportar y ampliar los resultados de investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer patente su agradecimiento a las autoridades ejidales de la comunidad de San Pablo Ixayoc, municipio de Texcoco, Estado de México, por su apoyo y las facilidades de acceso a sus bosques para la realización del presente trabajo de investigación.

## BIBLIOGRAFÍA

- André, F. *et al.*, 2008, "Effects of biological and meteorological factors on stemflow chemistry within a temperate mixed Oak-beech stand", en *Science of the total environment* (393): 72-83.
- Asadian, Y. y M. Weiler, 2009, "A New approach in measuring rainfall Interception by urban trees in coastal British Columbia", en *Water Qual. Res. J. Can.* 44 (1): 16-25.
- Aussenac, G., 1981, "L'interception des précipitations par les peuplements forestiers", en *La Houille blanche* (7-8): 531-536.
- Cantú, I. y H. González, 2001., "Interception loss, throughfall and stemflow chemistry in pine and oak forests in northeastern Mexico", en *Tree Physiology* 21: 1009-1013.
- David, J. *et al.*, 2005, "Evaporation of intercepted rainfall", en Anderson, M. (Ed.), *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, John Wiley and Sons. Ltd.
- Fleischbein, K. *et al.*, 2005, "Rainfall interception in a lower montane forest in Ecuador: effects of canopy properties", en *Hydrological Processes* 19(7): 1355-1371.
- Flores, A. *et al.*, 2011, "Intercepción de lluvia por vegetación forestal. Estado actual de la investigación en México e Hidalgo", en *Aportes para el desarrollo del estado de Hidalgo*, vol. 1, *Agua y Medio Ambiente*, Ed. Miguel Ángel Porrúa, México.
- Gadow, K. *et al.*, "Forest Structure and Diversity", en Pukkala, T. y K. Gadow (Eds.), *Continuous Cover Forestry, Book Series Managing Forest Ecosystems*, Vol. 24, Springer Science-Business Media.
- Hosseini, G. *et al.*, 2012, "Throughfall, stemflow, and rainfall interception in a natural pure forest of chestnut-leaved Oak (*Quercus castaneifolia* C.A. Mey.) in the Caspian Forest of Iran", en *Ann. For. Res.*, 55(2): 197-206.
- Kittredge, J., 1948, *Forest influences. The effects of woody vegetation on climate, water, and soil, with applications to the conservation of water and the control of floods and erosion*, Dover Publications, Inc., Nueva York.

- Levia, F. y S. Herwitz, 2005, "Interspecific variation of bark water storage capacity of three deciduous tree species in relation to stemflow yield and solute flux to forest soils", en *Catena* 64: 117-137.
- Levia, F. y S. Germer, 2015, "A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands", en *Rev. Geophys.*, 53:673-714, doi:10.1002/2015RG000479.
- Lida, S. *et al.*, 2005, "Change of interception process due to the succession from Japanese red pine to evergreen oak", en *Journal of Hydrology*, 315: 154-166.
- Manfroi, O. *et al.*, 2004, "The stemflow of trees in a Bornean lowland tropical forest", en *Hydrological Processes* 18(13): 2455-2474.
- Marin, C. *et al.*, 2000, "Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia", en *Journal of Hydrology* 237: 40-57.
- Návar, J., 1993, "The causes of stemflow variation in three semi-arid growing species of northeastern Mexico", en *Journal of Hydrology*, 145(1-2): 175-190.
- Návar, Ch. *et al.*, 2008, "Intercepción de la lluvia en especies de leguminosas del nordeste de México", en *Terra Latinoamericana* 26 (1):61-68.
- Návar, J., 2011, "Stemflow variation in Mexico's northeastern forest communities: Its contribution to soil moisture content and aquifer recharge", en *Journal of Hydrology* 30: 35-42.
- Návar, J., 2013, "The performance of the reformulated Gash's interception loss model in Mexico's northeastern temperate forests", en *Hydrological Processes* 27: 1626-1633.
- Návar, J., 2017, "Fitting rainfall interception models to forest ecosystems of Mexico", en *Journal of Hydrology* 548: 458-470
- Prasad, G. *et al.*, 2017, "Measurement and modeling of rainfall interception by two differently aged secondary forests in upland eastern Madagascar", en *Journal of Hydrology* 545: 212-225.

- Taghi, M. *et al.*, 2013, "The role of rainfall size in canopy interception loss: An observational study in a typical beech forest", en *Middle-East Journal of Scientific Research* 3(7): 876-882.
- Sadeghi, M. *et al.*, 2015, "Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate", en *Journal of Agricultural Science and Technology* 17(1): 145-156.
- Scatena, N., 1990, "Watershed scale rainfall interception on two forested watersheds in the Luquillo mountains of Puerto Rico", en *Journal of Hydrology* 113(1990): 89-102.
- Siegert, M. y D. Levia, 2014, "Seasonal and meteorological effects on differential stemflow funneling ratios for two deciduous tree species", en *Journal of Hydrology* 519: 446-454.
- Staelens, J. *et al.*, 2008, "Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology", en *Hydrological Processes* 22(1): 33-45.
- Statistical Analysis System Institute (SAS), 2007, *The SAS System for Windows ver. 9.1.3*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EUA.
- Torres, M., 2014, "Exploring volume growth-density of mixed multiaged stands in northern Mexico", en *Agrociencia* 48(4): 447-461.
- Xiao, Q. *et al.*, 2000, "Winter rainfall interception by two mature open-grown trees in Davis, California", en *Hydrological Processes* 14(4): 763-784.



# Propiedades funcionales de las proteínas del huevo de codorniz y contenido nutrimental

José Fernando González Sánchez,<sup>1</sup> Susana E. Ramírez Sánchez,<sup>1</sup>  
Isaac Conrado Gallardo Vargas,<sup>1</sup> Francisco Héctor Chamorro Ramírez<sup>1</sup>  
y Haydee Hernández Unzón<sup>2</sup>

**Resumen.** Los huevos de la gallina doméstico (*Gallus gallus domesticus*) son los más consumidos habitualmente, pero también se consumen los de pato, el ganso y la codorniz, por nombrar algunos. Se considera a el huevo como un alimento rico en proteínas, minerales y lípidos. La composición nutrimental del huevo de gallina está bien establecida, pero no así la del huevo de codorniz. Los huevos en general constan de tres componentes principales; Cáscara, clara y yema, los cuales tienen varias propiedades funcionales que son aprovechadas en los alimentos y otras industrias. Las propiedades funcionales que presentan la clara y yema de huevo son: capacidad de formar espuma, gelificación y emulsión, las cuales pueden verse afectadas por el tiempo de almacén. El objetivo de este trabajo fue evaluar las características nutricias y las propiedades funcionales de los componentes del huevo de codorniz. Se determinó las propiedades funcionales de huevos almacenados a temperatura ambiente a los 10, 20, 30, 40, 50 y 60 días, después de la postura; los resultados se analizan mediante una comparación apareada de

<sup>1</sup> Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, Departamento de Producción Agrícola y Animal, e-mail: jfgonzal@correo.xoc.uam.mx

<sup>2</sup> Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Ingeniería Bioquímica.

*Tukey. Se determinó el nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, lípidos totales y colesterol. Las propiedades funcionales de formación de espuma y emulsión del huevo de codorniz son semejantes a las del huevo de gallina; para la capacidad de coagulación se requiere de una temperatura menor para coagular las proteínas del huevo de codorniz, esto debido a la transformación lenta de la ovoalbúmina a su forma termoestable (S-ovoalbúmina), en comparación al de gallina. El valor nutrimental de proteína de los huevos de codorniz es semejante a la de los huevos de gallina; la cantidad de lípidos totales es mayor y el contenido de colesterol no tiene diferencias. La cantidad de ácidos grasos de la yema de huevo de codorniz es semejante a la de huevo de gallina.*

**Palabras Clave:** *huevo codorniz, nutrientes, propiedades funcionales.*

**Abstract.** *The eggs of domestic hen (*Gallus gallus domesticus*), are the most commonly consumed, but those of duck, goose and quail are also consumed, to name a few. The egg is considered as a food rich in proteins, minerals and lipids. The nutritional composition of the chicken egg is well established but not that of the quail egg. Eggs generally consist of three main components; Shell, clear and yolk, these have several functional properties that are used in food and other industries. The functional properties of egg white and egg yolk are able to form foam, gelling and emulsion, which can be affected by storage time; the objective of this work was to evaluate the nutritional characteristics and the functional properties of the components of the quail egg. The functional properties of the quail eggs stored at three room temperatures, 3-5°C, 19-23°C and 32°C at 10, 20, 30, 40, 50 and 60 days. After this, the total nitrogen, ammoniacal nitrogen, total lipids, cholesterol and protein transformation of the white egg were determined. The functional properties of formation of foam and emulsion in quail egg are like those of chicken egg. The capacity of coagulation of quail egg white requires less temperature than chicken egg white, this happens because of the slow transformation of the ovalbumin to its thermo stable form (S-ovalbumin) in comparison to that of chicken egg white. The nutrimental value of the protein in the quail*

*egg is like that chicken egg, the content of total lipids is greater, and content of cholesterol is not different. The amount of total fatty acids in the quail egg yolk is like that of the chicken egg.*

**Keywords:** *quail eggs, functional properties, nutrimental.*

## INTRODUCCIÓN

La codorniz japonesa (*Coturnix coturnix japonica*) es un ave doméstica, importante en el mundo como animal de laboratorio y utilizada comercialmente para producción de carne y huevo. Entre sus excepcionales características están su rápido crecimiento, su temprana madurez sexual, intervalo generacional corto, alta tasa de postura, menor espacio requerido por ave, en comparación a las gallinas (Kawahara-Miki *et al.*, 2013), y la conversión alimenticia de alimento a huevo es más eficiente que la gallina (Mnisi y Mlambo, 2018).

Los huevos de codorniz son caracterizados por una variedad de modelos coloridos, que van desde blanco nieve a completamente castaño. Normalmente son de color castaño canela y oscuro manchado o castaño jaspeado con manchas azul blanquecino. Cada codorniz tiende a poner el huevo con ciertas características de tamaño, jaspeado y color (Duval *et al.*, 2014).

Los huevos pueden considerarse como un alimento casi perfecto, una fuente de proteínas, grasas, vitaminas (excepto vitamina C) y minerales de alta calidad. Son un elemento básico de la dieta humana, de bajo costo de producción y de fácil acceso para la mayoría de la población mundial; son fáciles de digerir y utilizados para la mejora nutricional (fortificación) de varios tipos de alimentos (Tserven-Goussi y Fortomaris, 2011). Los huevos que se consumen habitualmente son los de la gallina doméstico (*Gallus gallus domesticus*), pero otros, como el pato, el ganso y la codorniz, por nombrar algunos, también son populares.

Consta de tres componentes principales: Cáscara, clara y yema; estos componentes tienen una gama de propiedades funcionales, las cuales poseen una variedad de usos en los alimentos y otras industrias (Eisenberg y Kauzmann, 2005).

El albumen o clara es una solución acuosa de numerosas proteínas globulares, como la ovoalbúmina, la conalbúmina (ovotransferrina), el ovomucoide, la lisozima, la ovomucina, las ovoglobulinas ( $G_2$  y  $G_3$ ), ovoflavoproteína, ovomacroglobulina, ovoglicoproteína, la avidina, el ovoinhibidor y cistatina. La yema consiste en una dispersión de partículas grasas en una fase acuosa o plasma. Las partículas, separables por centrifugación, representan 20% del peso seco de la yema y contienen sobre 60% de proteínas y 34% de lípidos. La calidad interna del huevo se ve afectada por el tiempo de almacenamiento, ya que aumenta la cámara de aire, al igual que el pH, y debido a esto las estructuras de las proteínas de las claras, principalmente la ovoalbúmina, cambia a su forma termoestable; S-ovoalbumina y la ovo mucina rompe su estructura fibrosa y se disocia de la lisozima, perdiendo la viscosidad de la clara gruesa y, por lo tanto, las unidades de calidad interna (IQU) disminuye; en cuanto a la yema, el índice de yema (IY) disminuye con el tiempo de almacenamiento debido a la migración de agua de las claras hacia las yemas (González *et al.*, 2009). El valor nutritivo del huevo de las gallinas domésticas como fuente de energía y proveedor de macro y micronutrientes es bien conocido, pero no así el del huevo de codorniz.

Las propiedades funcionales de las proteínas son definidas como cualquier propiedad fisicoquímica que afecta el comportamiento y características de los alimentos que las contienen o que son agregadas, y que contribuyen a la calidad final del producto. Estas características pueden ser sensoriales, nutricias y bioquímicas (Guerrero *et al.*, 2003). Desde el punto de vista de la industria de alimentos, las propiedades funcionales son aquellos atributos de los componentes alimenticios o aditivos que, a la concentración adecuada de los componentes y en condiciones apropiadas, proporcionan características deseables, principal-

mente reológicas, al producto final, como viscosidad, cuerpo, jugosidad, textura y aireación. Las proteínas muestran las propiedades funcionales en las interacciones con el disolvente, los iones, otras macromoléculas, los lípidos y fenómenos de la superficie (Larsen 2018, Li et al. 2018).

Las propiedades funcionales que presentan la clara y yema del huevo son capacidad de formar espuma, gelificación y emulsión; Además, la capacidad de coloración y el aroma de la yema. Estas propiedades son afectadas por el tiempo de almacenamiento, principalmente por el cambio de las proteínas de la clara que debido a la alcalinización por el intercambio gaseosos (Sleigh, 1996)

El albumen o clara de huevo de gallina está compuesto de tres capas principales que representan como término medio 23% (capa externa), 57% (capa espesa) y 17% (capa interna) de su masa total. Estas proporciones varían en función de la raza del animal, cantidad de puesta, tamaño del huevo y tiempo de almacenamiento. La capa espesa, gelificada, es la que queda unida a la yema cuando se rompe un huevo crudo sobre una superficie plana. El albumen es una solución acuosa de numerosas proteínas globulares, como la ovoalbúmina, la conalbúmina (ovotransferrina), el ovomucoide, la lisozima, la ovomucina, las ovoglobulinas (G2 y G3), la ovoflavoproteína, la ovomacroglobulina, ovoglicoproteína, la avidina, el ovoinhibidor y la cistatina (Guha *et al.*, 2018). Las proteínas de la clara forman espuma y coagulación, son importantes en merengues, soufflés, cubiertas y panes (Daugelaite *et al.*, 2016).

La yema consiste en una dispersión de partículas grasas en una fase acuosa o plasma. Las partículas, separables por centrifugación, representan 20% del peso seco de la yema y contienen sobre 60% de proteínas y 34% de lípidos. Se trata de cuerpos esféricos, de unos 20mm de diámetro y de gránulos de tamaño más pequeño (en torno a 1.3 mm). Con una fuerza iónica alta, estas partículas se disocian en glóbulos (0.03 a 0.1 mm), así como otros elementos observables al microscopio electrónico. Las lipoproteínas, concretamente las a y b lipovitelininas, constituyen 70% de la materia seca de las partículas, mientras que una fosfoproteína,

la fosfovitina y las lipoproteínas de baja densidad representan, respectivamente, 6 y 12 % de esta materia seca. El plasma contiene una proteína globular soluble; la livetina y una fracción lipoproteica de baja densidad que representan 11 y 66 % de la materia seca de la yema, respectivamente. La yema contiene la mayoría de los lípidos del huevo, esencialmente triglicéridos (66 %) y fosfolípidos (28 %, principalmente fosfatidilcolina). El colesterol y ésteres de colesterol y otros representa 6 % de la fracción lipídica. La intensidad del color de la yema depende del contenido en carotenoides (Guha *et al.*, 2018; Chalamaiah *et al.*, 2018).

La yema de huevo es bien conocida por ser una emulsión natural de aceite en agua. Debido a sus propiedades multifuncionales, la yema se usa ampliamente en las industrias alimentaria, médica, farmacéutica y cosmética (Chalamaiah *et al.*, 2017). Se utiliza también para crear emulsiones de aceite en agua, como mayonesas, aderezos y cremas a base de huevo (Kiosseoglou, 2003), por lo cual, el objetivo del presente trabajo fue determinar el valor nutrimental y propiedades funcionales de las proteínas del huevo de codorniz.

## MATERIALES Y METODOS

Para obtener huevos desde el momento de postura, se adquirieron 150 huevos de una granja productora de huevo de codorniz en la Delegación Tlalpan, Ciudad de México. Las codornices tenían 4 meses de edad, la alimentación era a libre acceso, con alimento formulado que contenía 22 % de proteína; con un fotoperíodo de 14 horas, y todas tenían las mismas condiciones ambientales de humedad relativa, entre 69 a 76 %, y temperatura 18 a 31.6 °C. De los huevos adquiridos, se seleccionaron 138, de los cuales 53 fueron almacenados en cinco grupos de nueve para ser almacenados a temperatura de 19 a 23 °C, y evaluados los días 1, 5, 10, 30 y 60 para determinar pH, nitrógeno total y nitrógeno amoniacal. Nueve huevos fueron evaluados al día uno de postura, a los cuales se les

determinó el extracto etéreo, colesterol y ácidos grasos. Ochenta y cuatro fueron almacenados a temperatura de 19 a 23°C en siete grupos de 12 huevos, a los cuales se les evaluó capacidad emulsificante, capacidad espumante, estabilidad de la espuma y coagulación por calor, los días 1, 10, 20, 30, 40, 50 y 60 de almacenamiento. Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado.

### **Determinación del pH**

Los huevos se almacenaron 1, 5, 10, 30 y 60 días a temperatura de 19-23°C para su posterior uso. Los huevos almacenados a diferentes días se quiebran; se toman las claras y las yemas, que se separan y se colocan en un vaso de precipitados de 50 mL, y se homogenizan y el pH se mide a temperatura ambiente con un potenciómetro marca HANNA.

### **Determinación de nitrógeno total**

Se realizan para huevos almacenados por 1, 5, 10, 30 y 60 días a temperatura de 19-23°C., por el método de Kjeldahl (1883) modificado. Se coloca un gramo de clara o yema de huevo en el fondo del matraz Kjeldahl, se adicionan 2 g de mezcla de catalizadores (2.5 g de sulfato de sodio más 0.2 g sulfato de cobre) y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado, se coloca el matraz en el digestor y se deja hasta el punto final de la digestión. Terminada la digestión se enfría el matraz y se le añade 300 mL de agua y 60 mL de NaOH al 40%, posteriormente se lleva a destilación. El destilado se recoge en un matraz erlenmeyer de 500 mL que contiene 75 mL de solución de ácido bórico al 4% y 3 gotas de indicador de Wesselow. Se destilan 200 mL y esto se titula con una solución de HCl 0.1N.

## Determinación del nitrógeno amoniacal

Se lleva a cabo para huevos almacenados por 1, 5, 10, 30 y 60 días a temperatura de refrigeración (3-5 °C), ambiente (19-23 °C) y temperatura de 32 °C, por el método de Lucke y Geidel (Kirk *et al.*, 1998). Se coloca, en un matraz Kjeldahl, aproximadamente 1 g de clara de huevo; 2 g de óxido de magnesio, 350 mL de agua destilada, perlas de ebullición y antiespumante; se coloca en el destilador del aparato de Kjeldahl. El Destilado se recupera en un matraz erlenmeyer de 500 mL que contiene 50 mL de ácido bórico al 2% y 3 gotas de indicador de Wesselow. Se destilan 200 mL. Se valora de la misma forma que el método de nitrógeno total.

## Determinación de extracto etéreo

Se determina sólo para huevo de 1 día de postura por el método de Soxhlet modificado. El matraz del equipo Soxhlet y el cartucho de celulosa se llevan a peso constante. Se colocan 2 g de yema de huevo previamente deshidratada, en estufa a 70 °C, en el cartucho de celulosa, se tapa con un algodón y se lleva dentro del recipiente sifón del equipo Soxhlet. Al matraz (previamente pesado) se le añaden 75 mL de éter etílico y se deja en refuljo por 3 horas, se deja enfriar el matraz y se lleva nuevamente a peso constante (Kirk *et al.*, 1998).

## Determinación de colesterol

Se determina sólo para huevo de 1 día de postura por medio de la reacción de Lieberman–Burchard (Litwack, 1964). En un tubo de ensayo se añaden 2 mL de extracto etéreo, 5 mL de cloroformo y 10 gotas de anhídrido acético; se mezcla y se adicionan dos gotas de ácido sulfúrico concentrado. Los tubos se colocan en oscuridad por una hora, y se determina

el espectro de absorción a 625 nm. El resultado se extrapola a una curva tipo de colesterol y se calcula la cantidad de colesterol en g presentes en la muestra con ayuda de la ecuación de la recta. El resultado se expresa como mg de colesterol por gramo de yema comestible.

## Determinación de ácidos grasos

Las yemas de las claras de 4 huevos de un día de postura se colocan en un crisol y se homogenizan, posteriormente se secan por liofilización. Los lípidos se extraen de la yema utilizando una mezcla de cloroformo-metanol (2:1 vol/vol) por el método de Bligh y Dryer (1959). Los ácidos grasos se metilan, con 1 mL de metanol y 3 mL de HCl-metanólico 3N (Wang *et al.*, 2000), y se analizan usando un auto inyector Hewlett Packard 7683 Series Injector y un cromatógrafo de gases Hewlett Packard 6890 series, GC System equipado con una columna capilar DB-23 (30 mm x 25 mm). El cromatógrafo se programa para que la temperatura del gas sea de 150 °C, para los primeros 8 minutos de operación, seguido de un incremento de 5 °C por minuto, hasta llegar a 200 °C. El inyector y detector de temperatura es fijada a 250 y 260 °C, respectivamente, y se utiliza helio como gas acarreador a una tasa de 1 mL/min. La concentración de ácidos grasos se expresa como porcentaje de ácidos grasos totales en la yema (Latour *et al.*, 1998). Se utilizó un estándar para detectar 14 ácidos grasos: caprílico, cáprico, láurico, mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico, linoleico, linolénico, araquidónico, docosanoico, erúcido, lignocérico.

## **Propiedades funcionales de los diferentes componentes del huevo**

### ***Capacidad de emulsión de la yema de huevo de codorniz***

Se determina usando el principio de resistencia eléctrica (Webb *et al.*, 1970) modificado. Se adicionan 10 mL de agua más 5 g de yema a un vaso de precipitados de 250 mL, el cual se coloca en un soporte debajo del agitador, con una velocidad de agitación de 5000 rpm; los electrodos de una unidad sensor de resistencia (multímetro) se instalan dentro del vaso y se deja fluir el aceite, proveniente de un embudo de separación, lentamente a una velocidad de 148 mL/minuto.

### ***Capacidad espumante***

Se determina de acuerdo con el método de Doi y Kitabatake (1997) modificado. Se colocan 10 mL de agua más 2 mL de clara de huevo en un matraz de 100 mL, utilizando un agitador, se agita a 6000 rpm por 1 minuto. La capacidad espumante se expresa como el volumen de la espuma en situación estable.

### ***Estabilidad de la espuma***

Se determina midiendo el líquido drenado por la acción de la gravedad de la espuma (la que se queda en la superficie del cilindro), el cual se mide directamente de la probeta después de 12 horas, y se calcula como estabilidad de la espuma contra líquido drenado (Hammershoj y Kars-ten, 2001).

### **Coagulación por calor**

Se determina por calorimetría diferencial de barrido. Se registra la temperatura en el punto en el cual la reacción es endotérmica, que es cuando se alcanza un punto de “estabilidad”, periodo durante el cual la temperatura no incrementa. La temperatura de coagulación corresponde a la temperatura final del proceso de desnaturalización completo de las proteínas. Temperatura de coagulación es igual a la temperatura final del proceso (Doi y Kitabatake, 1997). La calorimetría diferencial de barrido se lleva a cabo con un micro calorímetro diferencial de barrido (DSC Meter-Toledo). A la celda de aluminio del equipo se le adicionan 840 µg de clara, se usa como blanco agua desionizada al mismo volumen. La velocidad de calentamiento ( $\beta$ ) es de 2 °C/min. Se realiza para huevos almacenados a temperatura ambiente (19-23°C) y (57-70)% de humedad relativa, por 1, 5, 10, 20, 30, 50 y 60 días (Donovan y Mapes, 1976).

### **Análisis estadístico**

Los resultados obtenidos de la evaluación de nitrógeno amoniacal, pH, proteína cruda, colesterol, lípidos y de las propiedades funcionales fueron analizados considerando un modelo completamente al azar, con el tiempo de almacenamiento como factor fijo y utilizando un análisis de varianzas y una prueba pareada de tukey para determinar diferencias entre medias, considerando el siguiente modelo:

$$y_{ij} = \mu + T_i + \varepsilon_{ij}$$

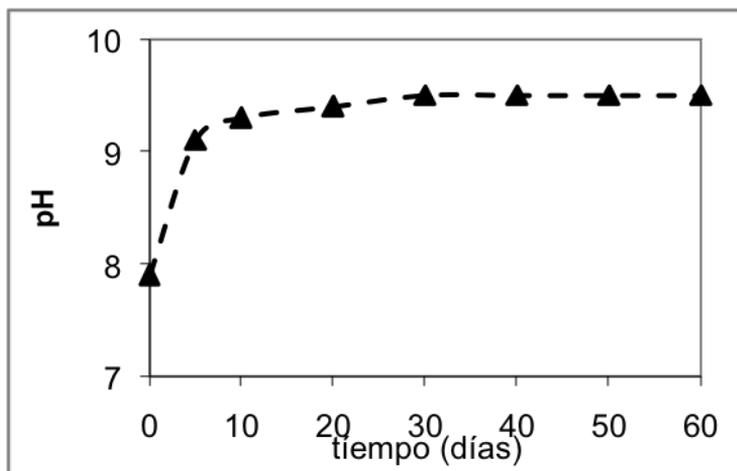
Donde  $y_{ij}$  = la variable evaluada,  $\mu$  = La media de la variable evaluada,  $T_i$  = el efecto del  $i$ ésimo día de almacenamiento y  $\varepsilon_{ij}$  = el efecto del error experimental. Los resultados fueron expresados como promedio de tres repeticiones.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### pH de la clara

Los cambios en pH de la clara del huevo de codorniz se muestran en la Figura 1. El pH del huevo fresco con 1 hora después de puesto es de 7.9, y se incrementa hasta alcanzar un máximo de 9.5 a los 3 y 30 días. El valor inicial del pH de la clara de huevo de codorniz es menor a lo mencionado por Itoh *et al.* (1981), que determina el pH en clara de huevo fresco en 8.4, y éste alcanza un valor máximo de 9.0 en claras de huevo de codorniz, almacenado por 2 días y se mantiene hasta los 25 días. Fennema (2010) cita que el aumento de pH se debe a la pérdida de bióxido de carbono a través de los poros del cascarón; esta pérdida es mayor a temperaturas elevadas porque la cutícula del cascarón se seca, ocasionando un aumento en el tamaño de sus poros y mayor pérdida de gases.

En cuanto al pH gallina, Scott y Silvesidest (2000) indican que el pH del huevo de gallina con 2 horas de ser puesto es de 7.4, y después de un día a temperatura ambiente de 20°C aumenta a 8.5, después de 10 días alcanza un valor de 9.4, por lo que se pudiera decir que el pH de huevo de codorniz aumenta más lentamente en comparación al huevo de gallina.

**Figura 1. Cambios en pH del albumen por tiempo**

### Nitrógeno amoniacal y total

El nitrógeno amoniacal no presenta cambios significativos ( $p < 0.01$ ) conforme pasa el tiempo bajo las condiciones de almacenamiento experimentales, y el contenido de éste es  $5.66 \times 10^{-4} \pm 1.76 \times 10^{-5} \%$  máximo a los 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente.

El contenido de nitrógeno total por 100 g de muestra húmeda es menor en huevo de 1 día después de la postura,  $8.75 \pm 0.3 \%$  en clara,  $13.38 \pm 0.5 \%$  en yema y  $11.07 \pm 0.4 \%$  en huevo entero (Cuadro 1); posteriormente, se mantiene sin cambios a los 5, 10 y 30 días,  $11.67 \pm 0.6 \%$  para la clara,  $16.8 \pm 0.4 \%$  para la yema y  $14.2 \pm 0.7 \%$  para huevo entero; a los 60 días el contenido de proteína de la clara es mayor,  $15.10 \pm 0.6 \%$  y el contenido de proteína total de la yema es menor,  $14.3 \pm 0.4 \%$ , esto puede deberse principalmente, de acuerdo con Ternes (2001), a que durante el almacenamiento hay una difusión de agua hacia la yema y algunos com-

ponentes proteicos de la yema pasan a través de la membrana vitelina hacia la clara.

En general, el contenido de proteína total del huevo de codorniz de un día de puesto es ligeramente menor a lo reportado por Closa *et al.* (1999), que es de  $13.6 \pm 0.3\%$ , y semejante al valor mencionado por Sleigh (1996) para huevo de gallina de 12.14 por ciento.

**Cuadro 1. Composición proximal de los huevos de codorniz**

	g/100 g de porción comestible		
	Clara	Yema	Huevo entero
Humedad	86± 1.4	51± 7.4	69.49± 4.0
Proteína (N x 6.68)	11.63 ± 2.6	15.63 ± 1.9	13.63± 2.1
Lípidos	n.d.	33.61± 2.2	12.59± 2.2
Colesterol		1.13 ± 0.2	

## Colesterol y lípidos

El contenido de colesterol fue de 11.3 mg/g de yema (Cuadro 1), de acuerdo a lo reportado por Bragagnolo y Rodríguez-Amaya (2003), que indican el contenido de colesterol del huevo de codorniz en 12.0mg/g de yema y es semejante a la del huevo de gallina con 12.1 mg/g de yema. Por otro lado, Closa *et al.*, (1999) reportan un contenido de colesterol de  $1.31 \pm 0.23$  g por 100g de yema en muestra húmeda para huevo de gallina, y  $4.3 \pm 0.36$  g de colesterol por 100 g de huevo entero de codorniz base húmeda, por lo cual, se puede concluir que el huevo de codorniz tiene 13% menos de colesterol en comparación con el huevo de gallina.

El contenido de lípidos totales de clara y yema se ilustra en el cuadro 1; es 13.5% mayor en el huevo de codorniz (37.7 g por 100 g de yema), que el de gallina (32.6 g por 100 g de yema), reportado por Panda y Singh en 1990.

## Ácidos grasos

La composición de los ácidos grasos determinados en la yema de huevo de codorniz no presentan variaciones cuali y cuantitativas con respecto a los ácidos grasos de la yema de huevo de gallina, ni con lo encontrado por otros autores (Cuadro 2). De los 14 ácidos grasos a detectar, sólo seis fueron detectados: mirístico, palmítico, palmitoleico, esteárico, oleico y linoleico. El ácido oleico 18:1 resultó ser el más abundante, correspondiendo a  $44.68\% \pm 0.88$  del total de ácidos grasos, el ácido mirístico 14:0 se encontró en menor porcentaje y dentro de los ácidos grasos; poliinsaturados, el ácido linoleico 18:2 fue el que se encontró en mayor proporción, lo cual es comparable con los datos del huevo de gallina.

**Cuadro 2. Composición de los ácidos grasos del total de lípidos de la yema de huevo**

Ácido graso	% del total de ácidos grasos		
	Codorniz	Codorniz <sup>a</sup>	Gallina <sup>b</sup>
Mirístico (14:0)	$0.75 \pm 0.11$	0.6	$0.36 \pm 0.07$
Palmítico (16:0)	$28.04 \pm 0.26$	25.2	$27.40 \pm 1.19$
Palmitoleico (16:1)	$5.91 \pm 0.55$	6.3	$4.00 \pm 0.49$
Esteárico (18:0)	$8.71 \pm 0.49$	7.7	$9.05 \pm 1.38$
Oleico (18:1)	$44.68 \pm 0.88$	44.0	$43.01 \pm 1.80$
Linoleico (18:2)	$11.91 \pm 1.34$	10.2	$15.62 \pm 0.86$

<sup>a</sup> Panda y Singh, 1990.

<sup>b</sup> Composición de ácidos grasos de yema de huevos producidos por gallinas alimentadas con una dieta que contenía harina de germen de maíz (Kovács *et al.*, 2000).

El ácido linolénico 18:3 no fue detectado, sin embargo, Arantes da Silva *et al.* (2009) concluyen que la incorporación del ácido graso poliinsaturado w-3 dentro de yema del huevo se puede llevar a cabo fácilmente por alimentación de las aves, adicionando semillas de linaza en el alimento, sin embargo, Hargis *et al.* (1991) comentan que también puede utilizarse aceite de pescado.

Sim (2000) expone que la composición de los lípidos del huevo es el resultado de una combinación de lipogénesis de novo e incorporación de los componentes lipídicos provenientes de la dieta del ave. Otro factor que regula la cantidad y tipo de ácidos grasos depositados en la yema es la inhibición de la retroalimentación de ácidos grasos de cadena larga en la dieta del ave. Aunque es fácil alterar la composición de ácidos grasos en la yema del huevo se debe suplementar w-3 sólo cuando se tenga una relación óptima de ácidos grasos poliinsaturados: ácidos grasos saturados y ácidos grasos w-6:w-3 en la dieta del ave.

Watkins *et al.* (2000) explican la importancia del contenido y tipo de ácidos grasos que contiene la yema del huevo en la nutrición humana, así como el alto contenido de ácido oleico (44.68%) y palmitico (28.04%), aunque no son indispensables en la dieta humana se les han atribuido efecto protector contra la aterosclerosis y propiedades anti carcinogénicas, respectivamente. El ácido linoleico, el cual está presente en 11.91%, es indispensable en la dieta humana, ya que éste se convierte en ácido araquidónico, y éste en ácido docosatetraenoico (DHA). La elongación y desaturación proceden a ácidos grasos todavía más largos, que son importantes en el sistema nervioso central y particularmente en la retina. A partir del ácido araquidónico se producen los llamados “eicosanoides” (por tener 20 carbonos), como las prostaglandinas, las prostaciclina y los tramboxanos por efecto de la ciclo oxigenasa y por efecto de las lipo oxigenasas, los leucotrienos, hidroxiaácidos grasos y lipoxina. Entre otras funciones, los eicosanoides intervienen en los procesos de inflamación y de coagulación.

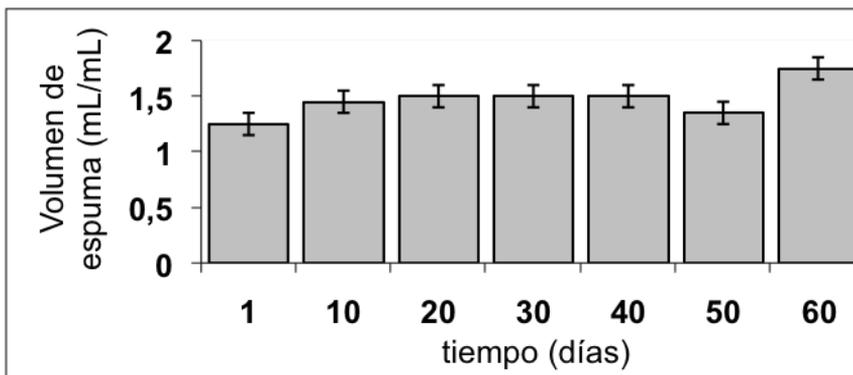
## Propiedades funcionales

### Capacidad espumante y estabilidad de la espuma

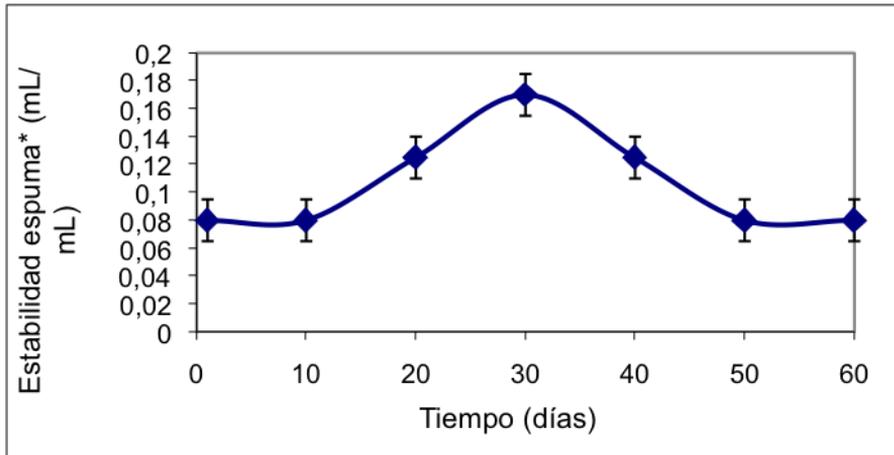
El volumen de la espuma de la clara de huevo de codorniz no varía conforme pasa el tiempo de almacenamiento (Figura 2); en el día 1 se tiene una menor capacidad de espuma (1.25 en la dieta del ave mL espuma/mL clara), esto debido tal vez a una mayor disolución de las proteínas en la clara, y en el día 60 se tiene una capacidad de espuma mayor (1.75 mL/mL) comparadas con los días anteriores, esto se puede deber a la pérdida de agua y a la solubilidad de la ovomucina de la clara gruesa. En huevo de gallina, el volumen de espuma fue de 1.4 mL/mL; Hamayakawa *et al.* (1983) encontraron que existe un decremento del volumen de la espuma conforme aumenta el almacenamiento por arriba de 23 días a 19 °C; en contraparte, Ternes (2001) dice que en huevos de mayor tiempo de almacenamiento, su clara produce mejor espuma que los huevos frescos. Esto es debido a la disociación molecular del complejo ovomucina lisozima durante el almacenamiento.

Damodaran *et al.* (1998) infieren que el volumen de la espuma puede aumentar si incrementa la temperatura de batido debido a la desnaturalización parcial de la ovoalbúmina de la clara de huevo de gallina. Por otro lado, la proteína ovomucoide es la responsable de tener influencia en la coagulación térmica por ser termoestable, por lo cual, es posible que la espuma se pueda hornear y mantenga su estabilidad. El volumen de la espuma está correlacionado con la concentración de globulinas, lisozima, G<sub>2</sub> y G<sub>3</sub>.

**Figura 2. Capacidad espumante por volumen de espuma de la clara de huevo de codorniz como una función del tiempo**



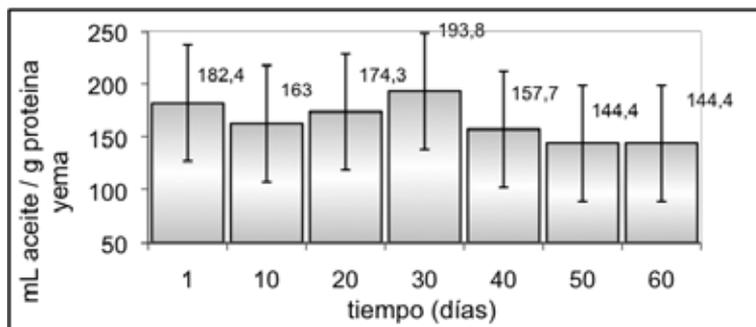
Con respecto a la estabilidad de la espuma contra el líquido drenado como una función del tiempo de almacenamiento, hay un efecto significativo ( $P < 0.01$ ), pero esto no se muestra claro en los huevos de 1, 10 días y los huevos de 50 y 60 días de almacenamiento, los cuales tienen una baja estabilidad de la espuma (0.08) (Figura 3), por otro lado, los huevos almacenados a 20, 30 y 40 días muestran la estabilidad más alta,  $0.125 \pm 0.015$ ,  $0.17 \pm 0.02$  y  $0.125 \pm 0.01$  mL líquido drenado/mL de clara inicial, respectivamente. En el huevo de gallina la estabilidad de la espuma contra líquido drenado es de  $0.08 \pm 0.01$  mL/mL

**Figura 3. Estabilidad de la espuma contra líquido drenado**

\* a 2 horas después de la formación de la espuma en función al tiempo de almacén de los huevos de codorniz a 18- 24 °C, H.R. =57-70 %, n=3.

Hamermrshoj *et al.* (1999) atribuyen que la variación de la estabilidad se puede deber al cambio de pH de la clara, el cual influye directamente en las propiedades superficiales de las espumas, es decir, a diferente pH se producen burbujas de diferente diámetro, lo que determina la estabilidad, pero Ternes (2001) indica que huevos entre más tiempo tengan de almacenados, la estabilidad de la espuma es menor a causa de los triacilglicéridos de la yema, los cuales pasan a través de membrana vitelina, y conforme pasa el tiempo de almacenamiento, teniendo éstos tienen un efecto desestabilizador en la espuma de la clara de huevo de gallina.

**Figura 4. Capacidad de emulsión\* de la yema de huevo de codorniz en función del tiempo de almacenamiento**



\*Velocidad de agitación 5000 r.p.m., velocidad de adición del aceite 148mL/minuto, pH 6.46 – 6.7, T= 20-25°C, Aceite de maíz. n=3.

## Capacidad de emulsión y estabilidad de la emulsión

La capacidad de emulsión (Figura 4) del huevo de codorniz en función del tiempo de almacenamiento presenta diferencia significativa ( $P < 0.01$ ), la capacidad emulsión del huevo de gallina es de  $153 \pm 51.18$  mL de aceite por gramo de proteína de la yema, semejante al de codorniz.

Mine (1998) concluye que las lipoproteínas de baja densidad (LDL) son el principal factor en las propiedades emulsificantes de la yema, pero principalmente ayudan a la estabilización de la emulsión, aunque la yema de huevo con el almacenamiento tiene pocos cambios químicos, como por ejemplo, el pH, que afecta las propiedades funcionales del LDL; por lo cual el LDL es un magnífico emulsificante a pH entre 7.0 y 9.0, pudiendo atribuir a esto, los ligeros cambios en la capacidad de emulsión obtenidos. Por otro lado, Ternes (2001) asevera que otro factor que contribuye a la disminución de la emulsión, con el tiempo, es una difusión de los componentes de la yema a través de la membrana vitelina, como los triglicéridos y las lipoproteínas, las cuales contribuyen a la emulsión.

## Coagulación por calor

A partir de los termogramas mostrados de las proteínas de la clara de huevo en la figura 5A, y utilizando el programa de análisis del equipo, se obtuvieron los valores correspondientes a las temperaturas finales del proceso (Cuadro 3), en donde el proceso de desnaturalización completo de las proteínas de la clara ha sido llevado a cabo; esta temperatura es considerada como la temperatura de coagulación ( $T_{\text{final}} = T_{\text{coagulación}}$ ). En la clara de 1 día de almacenamiento, la temperatura de coagulación es de 85.9°C; para los huevos almacenados a 11 y 20 días, la temperatura de coagulación de la clara es de 87.6°C; para los huevos almacenados a 50 y 60 días, de 88.9 y 89.8°C, respectivamente; el aumento de temperatura de coagulación de la clara en función del tiempo de almacenamiento se debe principalmente a la transformación de la ovoalbúmina a S-ovoalbúmina, la cual es más estable a la desnaturalización por calor.

**Cuadro 3. Temperaturas de inicio, máximas y finales del proceso endotérmico de la clara de huevo de codorniz con relación al tiempo de almacenamiento**

Termograma	Pico 1			Pico 2			Pico 3		
	$T_i$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{final}}$	$T_i$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{final}}$	$T_i$	$T_{\text{max}}$	$T_{\text{final}}$
1d	57.9	65.3	67.4	67.4	75.3	85.9			
5d	55.3	65.5	68.3	68.3	74.3			77.9	87.6
11d	55.5	65.1	68.7	68.7	77.9			81.7	87.6
20d	57.0	65.1	69.36	69.36	78.3			82.1	88.3
30d	56.4	65.0	68.7	68.7	77.6			80.8	88.0
50d	57.9	64.7	69.8	69.8	77.6			81.3	88.9
60d	57.4	64.2	68.9	68.9	76.6			82.1	89.8

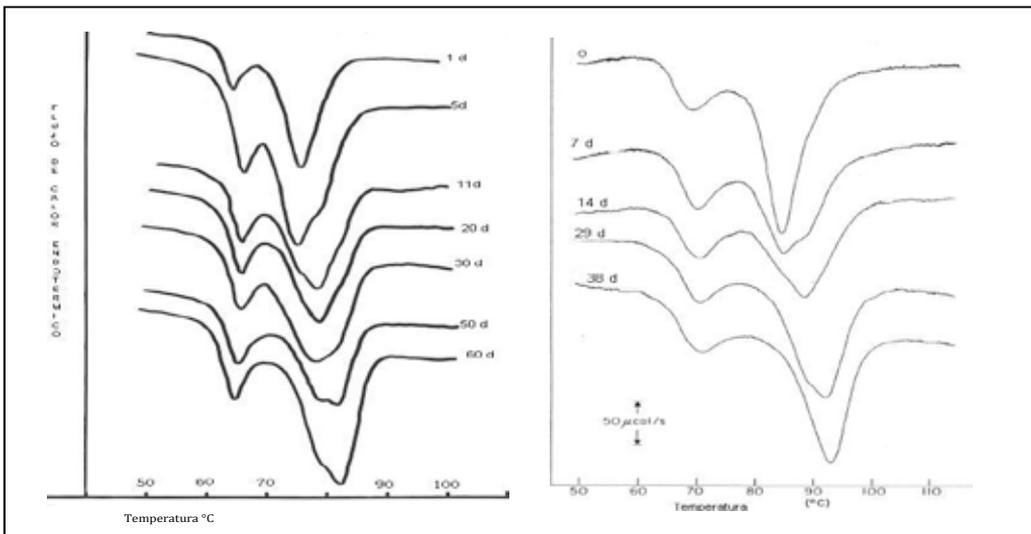
$T_i$  = temperatura de inicio;  $T_{\text{max}}$  = temperatura del pico;  $T_{\text{final}}$  = temperatura final del proceso.

Donovan y Mapes (1976) evaluaron por colorimetría la clara de huevo de gallina, mostrado en la Figura 5B, de aquí que la temperatura de coagulación de la clara en huevo fresco de 0 días es de 96 °C; para un huevo almacenado por 7 días de 98.4; en huevos almacenados por 14 y 24 días de 100.5 °C, y por último a 38 días, la coagulación total de la clara se alcanza a los 102.3 °C, esto se debe a la formación más rápida de la forma termo resistente de la ovoalbúmina, S-ovoalbúmina, después de almacenar el huevo.

Por lo tanto, la clara de huevo de codorniz tiene, en general, una temperatura de coagulación menor, esto es muy útil porque requerimos de menos energía, y esto resultaría en un ahorro al momento de procesar un producto al utilizar la propiedad de coagulación del huevo.

La diferencia en la tasa de conversión de ovoalbúmina a S-ovoalbúmina entre la clara de huevo de codorniz y la de gallina puede estar relacionada a las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de las ovoalbúminas, como es el cambio rápido de pH en huevo de gallina.

**Figura 5. Análisis por calorimetría diferencial de barrido**



(A) de la clara de huevo de codorniz almacenados entre 18 y 23 °C, H.R. 57-70 %, por 1, 5, 11, 20, 30, 50 y 60 días. Las muestras se usaron sin disolver, utilizando 0.814 g de clara y agua como testigo. Flujo de calor de 2 °C por minuto. (B) de la clara de huevo de gallina almacenada a 22 °C por 0, 7, 14, 29 y 38 días, flujo de calor de 10 °C por minuto, Donovan *et al.*, 1976.

## CONCLUSIONES

Las características físicas del huevo de codorniz contribuyen a un cambio más lento en el pH en comparación al de gallina. Esto conlleva a una mejor estabilidad de sus componentes, lo cual afecta a sus propiedades funcionales, como la capacidad de formación de espuma, la cual no se ve afectada por el tiempo de almacén, pero es más estable cuando tienen 30 días después de la postura; por el contrario, la capacidad de emulsión de la yema disminuye con el paso del tiempo. En cuanto a la gelifica-

ción o coagulación de la clara, los huevos de codorniz necesitan menor calor para que éstas se coagulen en comparación con las claras de huevo de gallina. Nutricionalmente el huevo de codorniz es igual al huevo de gallina.

## BIBLIOGRAFÍA

- Arantes da Silva, A. *et al.*, 2009, "Quail egg yolk (*Coturnix coturnix japonica*) enriched with omega-3 fatty acids", *LWT-Food Science and Technology* 42(2): 660-63.
- Arthur, J. y M. Bejaei, 2017, "Quail Eggs", en *Egg Innovations and Strategies for Improvements*, Elsevier, doi:10.1016/B978-0-12-800879-9.00002-0. doi:10.1016/J.FOODCHEM.2018.06.033.
- Bitman, J. y D. Wood, 1980, "Cholesterol and cholesteryl esters of egg from various avian species", en *Poultry Science* 59:2014-2023.
- Bligh, E. G., y W. J. Dryer, 1959, "A rapid method of total lipid extraction and purification", en *Canadian Journal Biochemistry Physiology* 37: 911
- Bragagnolo, N. y D. Rodriguez, 2003, "Comparison of the cholesterol content of Brazilian chicken and quail eggs", en *Journal of Food Composition and Analysis* 16 (2): 147-53, doi:10.1016/S0889-1575(02)00129-1.
- Chalamaiah, M. *et al.*, 2017, "Physicochemical and functional properties of livetins fraction from hen egg yolk", en *Food Bioscience* 18: 38-45.
- Chalamaiah, M. *et al.*, 2018, "Physicochemical and functional properties of leftover egg yolk granules after phosvitin extraction", en *Food Chemistry* 268 (diciembre), Elsevier: 369-77.
- Cheftel, J. *et al.*, 1989, *Proteínas Alimentarias*, 1ª edición, Acribia, Zaragoza España.
- Closa, S. *et al.*, 1999, "Composición de huevos de gallina y codorniz", en *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 49(2): 181-185.
- Damodaran, S. *et al.*, 1998, "Competitive adsorption of egg white proteins at the air-water interface: direct evidence for electrostatic

- complex formation between lysozyme and other egg proteins at the interface", en *Journal Agricultural Food Chemistry* 46(3): 872-876.
- Daugelaite, D. *et al.*, 2016, "Quantifying liquid drainage in egg-white sucrose foams by resistivity measurements". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 489 (enero). Elsevier: 241-48. doi:10.1016/J.COLSURFA.2015.10.053.
- Doi, E. y N. Kitabatake, 1997, *Structure and Functionality of egg Proteins in Food Proteins and their applications*, Damodaran, S. Paraf, A. (Ed.) 1st edition, CRC Press, Washington D. C.
- Donovan, J. W. y C. J. Mapes, 1976, "A differential scanning calorimetric study of conversion of ovalbumin to S-ovoalbumin in egg", en *Journal Science Food Agricultural*, 27: 197-204.
- Duval, C. *et al.*, 2014, "Early life stress shapes female reproductive strategy through eggshell pigmentation in Japanese quail", en *General and Comparative Endocrinology* 208 (noviembre): 146-53, doi:10.1016/J.YGCEN.2014.08.013.
- Eisenberg, D. y W. Kauzmann, 2005, "The Structure and Properties of Water", en *Science*, 166: 861. Elsevier. doi:10.1093/acprof:oso/9780198570264.001.0001.
- Fennema, O., 2010, "Características de los alimentos líquidos de origen animal: Huevos", en *Química de los Alimentos*, 3ª edición, Acribia, Zaragoza, España.
- Franks, F., 1998, *Conformational stability: denaturation and renaturation in Characterization of Proteins*, F. Franks (Ed.), Human Press, Clifton N. J.
- González, S. *et al.*, 2009, "Physicochemical Changes in Quail Eggs (*Coturnix coturnix japonica*) after Storage at Different Temperatures", en *Journal Applied Animal Research* 35: 77-80.
- Guha, S., 2018, "Egg Proteins", en *Reference Module in Food Science*, enero, Elsevier. doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.21603-X.
- Guerrero, C. *et al.*, 2003, "Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas", en *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatan*, 227: 34-43.

- Hamayakawa, S. *et al.*, 1983, "Effect of B- ovomucin on the solubility of a-ovomucin and further inspection of structure of ovomucin complex in thick white", en *Agricultural and Biological Chemistry*, 47: 815-820.
- Hammershoj, M. y B. Karsten, 2001, "Importance of Hen Age and Egg Storage Time for Egg Albumen Foaming", en *Lebensm-Wiss. U.-Technology*, 34: 118-120.
- Hargis, P. *et al.*, 1991, "Dietary modification of yolk lipid with menhaden oil", en *Poultry Science* 70: 874-883.
- Itoh, T. *et al.*, 1981, "Some physicochemical changes in quail egg during storage", en *Poultry Science* 60: 1245-1249.
- Kawahara, M., 2013, "Next-generation sequencing reveals genomic features in the Japanese quail", en *Genomics* 101: 345-53.
- Kiosseoglou, V., 2003, "Egg yolk protein gels and emulsions", en *Current Opinion in Colloid & Interface Science* 8: 4-5, Elsevier: 365-70. doi:10.1016/S1359-0294(03)00094-3.
- Kirk, A. *et al.*, 1998, *Composición y análisis de alimentos de Pearson*, CECSA, México, D. F.
- Kjeldahl, C., 1883, "New Method for determination of nitrogen in organic material. Z", en *Anal. Chemistry* 22: 366-382 (in German).
- Kovács, G. *et al.*, 2000, "Effect of feed composition on cholesterol content of the table egg", en *Acta Alimentaria* 29(1):25-41.
- Larsen, S., 2018, "The Structure and Properties of Eggs", en *Reference Module in Food Science*, enero, Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-08-100596-5.21686-7.
- Litwack, G., 1964, *Experimental Biochemistry*, John Wiley and sons, New York, EUA.
- Latour, M. *et al.*, 1998, "Broiler Breeder age and dietary fat influence the yolk fatty acid profiles of fresh eggs and newly hatched chicks", en *Poultry Science* 77:47-53.
- Mine, Y., 1998, "Adsorption Behavior of egg Yolk Low density Lipoproteins in oil in water emulsions", en *Journal Agricultural Food Chemistry* 46: 36-41.

- Mnisi, C. y V. Mlambo, 2018, "Growth performance, haematology, serum biochemistry and meat quality characteristics of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) fed canola meal-based diets", en *Animal Nutrition* 4: 37-43.
- Noble, R., 1987, *Egg lipids in Egg Quality, Poultry Science Symposium Series Number twenty*, Butterworths and Co. Ltd.
- Panda, B. y R. Singh, 1990, "Developments in processing quail meat and eggs. World's", en *Poultry Science Journal* 46:219-234.
- Scott, T. y F. Silversidest, 2000, "The Effect of Storage and Strain of Hen on Egg Quality", en *Poultry Science* 79:1725-1729.
- Sikorski, Z. et al., 2001, *Chemical and Functional Properties of Food Proteins*. CRC Press, Boca Raton, EUA.
- Sleigh, R., 1996, *Egg science and technology*, 4ta ed., William J. Stadelman y Owen J. Cotterill (Eds.), Food Products Press, 1995. ISBN 1 56022 855 5". *Trends in Food Science & Technology* 7 (10). Elsevier: 341. doi:10.1016/0924-2244(96)83862-3.
- Sim, J., 2000, *Designer egg concept: Perfecting egg through diet enrichment with w-3 PUFA and cholesterol Stability in Egg Nutrition and Biotechnology*, J. Sim, S. Nakai y W. Guenter, (Eds.) Cab international, U. K.
- Ternes, W., 2001, "Egg proteins" en *Chemical and Functional Properties of Food Proteins*, Zdzislaw E. Sikorski (Eds.) CRC Press, Nueva York, Londres.
- Tserveni, A. y P. Fortomaris, 2011, "Production and quality of quail, pheasant, goose and turkey eggs for uses other than human consumption", en *Improving the Safety and Quality of Eggs and Egg Products*, Elsevier.
- Wang, Y. et al., 2000, "Fatty acid determination in chicken egg yolk: a comparison of different methods", en *Poultry Science* 79: 1168-1171.
- Watkins, B. et al., 2000, "Biological activities of conjugated linoleic acids and designer eggs", en *egg Nutrition and Biotechnology*, CAB International, U. K.
- Webb, N. et al., 1970, "The Measurement of Emulsifying Capacity by Electrical Resistance", en *Journal of Food Science* 35: 501-504.



# El perfil lipídico de maíces híbridos y nativos de climas tropicales contaminados con aflatoxinas y fumonisinas

Silvia Denise Peña Betancourt<sup>1</sup>

**Resumen.** El maíz es un cereal rico en grasa, base de la dieta mexicana y susceptible a la contaminación por micotoxinas. Se conoce el perfil lipídico de los maíces procedentes de climas templados y existe poca información de los nuevos genotipos de maíz adaptados a climas tropicales. La exposición por el consumo de maíz contaminado con micotoxinas se asocia con enfermedades crónicas degenerativas como el cáncer hepático y el perfil lipídico de los alimentos con la resistencia a la insulina. En este estudio se analizó el contenido de grasa total, perfil lipídico, fumonisinas y aflatoxinas en dos genotipos de maíz, procedentes del estado de Morelos y de la Ciudad de México, mediante técnicas estandarizadas. Los maíces híbridos contaminados con micotoxinas presentaron mayor contenido de grasa total (6.82%) que los maíces nativos (5.23%) y del ácido graso palmítico (14.28 ppm), con un nivel de significancia  $p > 0.05$ . Ambos genotipos de maíz presentaron aflatoxinas (55.5%) y fumonisinas (27.7%), en niveles dentro de la regulación nacional. Se concluye la co-existencia de aflatoxinas y fumonisinas en los maíces y su influencia sobre el perfil de ácidos grasos, principalmente en los ácidos grasos de cadena larga  $< 20$  C.

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Laboratorio de Toxicología. UAM-X, e-mail, spena@correo.xoc.uam.mx.

**Palabras clave:** maíz, híbridos, ácidos grasos, fumonisinas, aflatoxinas.

**Abstract.** Corn is a cereal rich in fat, basic on Mexican diet and susceptible to contamination by mycotoxins. The lipid profile of maize is knowing principally in temperate climates but not completely in the new maize genotypes adapted to tropical climates. Exposure to maize contaminated consumption with mycotoxins is associated with chronic degenerative diseases such as liver cancer and fatty acids with insulin resistance. In this study the content of total fat, lipid profile, fumonisins and aflatoxins were analyzed in two genotypes of corn, from the state of Morelos and Mexico City. The hybrid genotypes contaminated with mycotoxins present a total fat content (6.82%) than the native genotypes (5.23%) and palmitic fatty acid (14.28 ppm). Both maize genotypes have contamination with aflatoxins (55.5%) and fumonisins (27.7%). The statistical analysis showed  $p > 0.05$  significance of palmitic fatty increase in the main hybrids and natives. The coexistence of aflatoxins and fumonisins in the hybrid markets marketed in tropical climates and their influence on the profile of fatty acids is concluded.

**keywords:** corn, fumonisin, aflatoxins, genotypes maize, fatty acid, lipid.

## INTRODUCCIÓN

El grano de maíz es rico en energía, del cual se obtienen diversos sub-productos (harinas, sémolas, aceite), sin embargo, es susceptible a la contaminación por micotoxinas en el campo, durante su procesamiento y en el almacén (Burger *et al.*, 2013). Del grano de maíz se conoce el contenido de grasa y el perfil lipídico, procedentes de climas templados, principalmente de la franja maicera de los Estados Unidos, sin embargo, poca información existe en México acerca de los maíces mejorados (híbridos), adaptados a climas tropicales y sub-tropicales (Sanjeev P. y colaboradores, 2014).

Existen diversos genotipos de maíz, en los cuales los niveles de ácidos grasos saturados (AGS), moni-insaturados (AGMI) y poli-insaturados (AGPI) no han sido completamente evaluados, aun cuando pueden impactar en el desarrollo de enfermedades crónicas como la obesidad, diabetes melitus tipo 2 (DM2) y cáncer hepático (Eldoom y Mohammed, 2018); en México estas enfermedades representan un alto porcentaje de mortalidad entre la población (Torres, 2011). Se conoce que el consumo de los ácidos grasos poli-insaturados (linoleico y linoléico, precursores de los ácidos grasos omega 3 y omega 6) es deficiente de acuerdo con la encuesta realizada por ENSANUT (2012) y publicada por Gaona *et al.*, (2018), por lo que se recomienda identificar el perfil de los ácidos grasos en los alimentos de mayor consumo (Pérez y Guerrero, 2006; Flock *et al.*, 2013). Se ha establecido que el alto consumo de alimentos energéticos condiciona el sobrepeso y éste, a su vez, en el desarrollo de la obesidad y la DM2. La obesidad es una enfermedad multifactorial caracterizada por una elevada ingesta calórica y un incremento de la glicemia y resistencia a la insulina, parámetros bioquímicos que se asocian inversamente con la cantidad de fosfolípidos en suero (Pérez y Guerrero, 2006). De las mujeres adultas, 25% presentan un peso normal, 35% sobrepeso y 37% obesidad, es decir, 7 de cada 10 personas adultas presentan sobrepeso u obesidad (Ávila *et al.*, 2018). Incluso a nivel mundial 10% de la población es obesa, por lo que es importante controlar la ingesta calórica en la dieta y obtener información de la composición de los alimentos (GLOBOCAN, 2012).

Actualmente, se encuentran disponibles en México nuevos genotipos de maíz, que han sido obtenidos por cruzamientos simples, dobles o triples, llamados híbridos, los cuales están adaptados a diversos climas como el trópico seco, trópico húmedo, templado, húmedo y seco; algunos de estos genotipos han sido dotados de genes de resistencia al ataque de hongos en el campo y la acumulación de micotoxinas (Hernández *et al.*, 2013).

Las fumonisinas B1, B2, B3 y B4 son micotoxinas producidas por el hongo *Fusarium verticillioides* (Stepien *et al.*, 2016); químicamente, son policétidos, sustancias que actúan sobre los lípidos, inhibiendo la síntesis de esfinganina N-acil transferasa, enzima que se involucra en la síntesis de novo de los esfingolípidos, lo que origina un acumulo de esfinganina, la que sirve actualmente como bio-marcador para detectar en un individuo la exposición a las fumonisinas a través del consumo de alimentos contaminados (De la Torre *et al.*, 2014).

El consumo de maíz contaminado con fumonisinas ha sido relacionado epidemiológicamente con defectos del tubo neural en niños recién nacidos y con el cáncer esofágico en personas adultas (Marasas *et al.*, 2004).

El Centro internacional de investigación en Cáncer (CIRC) ha clasificado a las fumonisinas como posibles carcinógenos humanos, por lo que la Comisión del Código Alimentario recomienda una ingesta diaria de 1 ng/g (ppb) y de 0.01 ng/g para las aflatoxinas. A nivel nacional no existe la reglamentación sobre el límite máximo permitido en el grano de maíz ni en ningún derivado (harinas, tortillas, aceites, jarabes). Se ha establecido un nivel máximo permitido para fumonisinas en masa y tortilla de 2000 a 4000  $\mu\text{g}/\text{kg}$  y de 200 ppb para los alimentos de consumo infantil (FAO/OMS, 2001).

En México, Dvorak *et al.* (2008) detectaron fumonisinas en la harina de maíz nixtamalizada en niveles de 1.80 mg/kg y en tortillas de 1.9 mg/kg), por lo que, considerando el alto consumo de tortilla, que es de 160 g diarios, existe un alto riesgo dentro de la población latinoamericana por desarrollar cáncer hepático (Torres y López, 2010). En 2012, se estimaron 1.1 millones de casos de cáncer a nivel nacional y se espera un incremento de 66% para el 2030 (GLOBOCAN, 2012), por lo que el cáncer hepático puede incrementarse si no se controla la contaminación por fumonisinas en los alimentos.

Las aflatoxinas son sustancias químicas producidas por el hongo *Aspergillus flavus* y *Aspergillus parasiticus* bajo condiciones de alta hume-

dad y temperatura en el cultivo de maíz. Son sustancias hepatotóxicas que pueden coadyuvar al desarrollo de cáncer hepático, principalmente en personas con cirrosis hepática o afectados por el virus de la hepatitis C (Kuniholm *et al.*, 2008). Actualmente, las aflatoxinas se han implicado en la patogénesis de la malnutrición proteico-energética, de acuerdo con Martínez *et al.* (2013).

La Comisión del Códex Alimentario recomienda una ingesta diaria (ID) de 0.01 ng g para las aflatoxinas. A nivel nacional, existe un límite máximo permisible de 12 ppb para tortilla y 20 ppb para el grano de maíz (FAO/OMS, 2001).

Para determinar la grasa total en muestras de maíz se utiliza, entre otras técnicas, la técnica de Espectroscopía de Reflectancia Cercana al Infrarojo (NIRS), que se considera una técnica de bajo costo y amigable con el medio ambiente, y cuya principal ventaja es la no destrucción de la muestra. Para la detección de fumonisinas destaca la técnica de inmunoensayo de flujo lateral, por su rapidez y sencillez, que ha sido validada de acuerdo con Wong y Harley (2009). Para la detección de aflatoxinas se han utilizado diversas técnicas: la cromatografía de capa fina y la técnica de inmuno-ensayo enzimático (ELISA), que siguen siendo vigentes (Peña, 2006). Para la detección de ácidos grasos, la cromatografía de gases es una técnica ideal para la estimación del perfil lipídico de una muestra de alimento, como lo indican Gutiérrez *et al.* (2016).

Por lo anterior, el objetivo de este estudio fue identificar el perfil lipídico de los maíces híbridos adaptados al trópico y comercializados en el estado de Morelos, y de maíces nativos adaptados a climas templados y comercializados en la Ciudad de México, con el objeto de identificar las variaciones en la calidad de las grasas por efecto de la contaminación con micotoxinas.

## MATERIALES Y METODOS

El diseño experimental seleccionado fue de tipo experimental y analítico, constituido por 42 muestras de maíz de dos genotipos (nativo e híbrido): 24 muestras de maíz híbrido y 18 de maíz nativo. Las muestras se dividieron de acuerdo con su procedencia (Morelos, Hidalgo y Ciudad de México) y su adaptación a climas tropicales y templados. Todos los maíces están disponibles a nivel nacional. Los maíces híbridos procedentes de la cosecha primavera 2013 y otoño 2014 fueron donados por el Instituto de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (Inifap) del estado de Morelos, en el municipio de Zacatepec, entre las coordenadas de 18° 37' y 18 41' altitud N y 99° 10' y 99° 14' longitud; a una altura de entre 900 a 1200 msnm, con una temperatura mínima de 24 °C y máxima de 40 °C, con una precipitación promedio anual de 82 mm. Los maíces nativos fueron colectados directamente de la siembra de los productores en la Ciudad de México, particularmente de Xochimilco (San Mateo Xalpa), en el año 2016. El clima es templado, subhúmedo con lluvias en verano y alcanza una precipitación pluvial de 700 mm<sup>3</sup> al año y una temperatura promedio de 17 °C.

### Preparación de las muestras

Se colectaron muestras de 1 Kg, las cuales se molieron hasta una granulometría de 20  $\mu$ m, en un molino manual. De cada muestra se tomaron submuestras de 50 g por triplicado para el análisis químico.

El contenido de grasa se determinó mediante la técnica de Espectroscopía de Reflectancia Cercana al Infrarojo (NIRS), en un equipo NIRS 6500 marca FOSS, en un rango de 1200 a 2350 nm y un método de regresión lineal múltiple (Egesel y Kahriman, 2012).

La determinación de fumonisinas se realizó por la técnica de inmunoensayo de flujo lateral, de acuerdo con Wong y Harley (2009). Se

utilizó un kit comercial de QuickTox TM, que consiste en pesar 5 g de la muestra, seguida de una extracción con 50 mL de la solución amortiguadora o PBS; la suspensión se mezcla en un vórtex por dos minutos y el sobrenadante se coloca en la tira inmunológica. La presencia de dos bandas se considera una prueba positiva, y la cuantificación de la tira se realiza por medio de QuickScan de los laboratorios Envirology.

El contenido de ácidos grasos se analizó mediante la Cromatografía de gases, en un cromatógrafo Varian Star 3400 CX (VARIAN Inc, Walnut Creek, CA) y detector de ionización de flama, con una columna capilar DB-23 de 30 m x 0.25 m (J & W Scientific, Folsom, CA), de acuerdo con el protocolo del laboratorio de análisis instrumental de la UAM-X. En la técnica se utiliza el gas helio como portador de la muestra, en un tiempo de corrida de 42 min. La identificación de cada ácido graso se realizó mediante el uso de estándares externos (Mix C4-C24, Supelco). Todos los reactivos fueron adquiridos de Sigma, Merck (Dermstadt, Alemania) y Becker, en la Ciudad de México. Los ácidos grasos se identificaron y se cuantificaron por regresión a partir de tres lecturas; los niveles se expresaron en g/100 g del contenido de grasa total.

## **Análisis estadístico**

Las medias de los ácidos grasos en los genotipos de maíz evaluados se analizaron mediante un análisis de varianza, con el programa SAS, PROC GLM a un  $p > 0.05$ , según las recomendaciones de Herrera y García (2011).

## RESULTADOS

En este estudio se detectó la contaminación por micotoxinas en ambos genotipos de maíz. En los maíces híbridos, procedentes del estado de Morelos y adaptados al trópico, se observó una co-ocurrencia de aflatoxinas y fumonisinas en 57% de las muestras, 28.57% contaminadas con fumonisinas y 14.28% con aflatoxinas. El nivel medio de aflatoxinas fue de 12.86 ppb en un rango de 10-17.7 ppb; las fumonisinas con un nivel medio de 0.56 ppm y un rango de 0.40 -0.91 ppm. En el maíz nativo procedente de la Ciudad de México, se observó una mayor incidencia de aflatoxinas (55.55%) y menor de fumonisinas (27.7%); el resto (16.68%) se encontró libre de micotoxinas; los niveles medio de aflatoxinas de 4.6 ppb y un rango de 1.5-10 ppb y para fumonisinas en niveles medio de 0.25 ppm mg y un rango de 0.32-1.1 ppm (Cuadro 1).

El contenido medio de grasa total en los maíces híbridos contaminados con micotoxinas fue de 6.82% y de 5.23% en los maíces nativos. En el maíz nativo se presenta un comportamiento similar, un mayor contenido de grasa en los maíces contaminados con respecto a los maíces libres de micotoxinas (3.66%), ver Cuadro 1.

**Cuadro 1. Niveles de aflatoxinas y fumonisinas en maíz híbrido y nativo procedente de dos localidades del Centro de México**

	<b>Aflatoxinas totales</b>	<b>Fumonisinias totales</b>
Grupo A Nativo (Xochimilco)	4.6* (1.5–10)	0.251** (0.320–1.1)
Grupo B Híbrido (Morelos)	12.86 Rango 10–17.7	0.565*** Rango 0.400–0.910

\*Niveles expresados en ppb

\*\*Niveles expresados en ppm

\*\*\* niveles expresados en g/kg

En el Cuadro 2 se presenta el perfil de ácidos grasos del maíz nativo e híbrido contaminado y libre de micotoxinas, en donde se observa que en los maíces nativos contaminados hay un ligero incremento en todos los ácidos grasos saturados (palmítico y esteárico) y poli-insaturados (linoleico y linolénico), en comparación con los ácidos grasos del maíz libre de micotoxinas.

**Cuadro 2. Niveles de grasa total y perfil de ácidos grasos de maíces nativos e híbridos contaminados con micotoxinas y no contaminados procedentes de dos localidades del Centro de México**

	<b>A</b>	<b>A'</b>	<b>B</b>	<b>B'</b>
Grasa total	372*	366 *	550*	534*
Ác. Graso Palmítico	12.01**	12.00**	14.28**	14.12**
Esteárico	3.47**	3.23**	3.07**	2.25**
Oleico	41.19**	40.84**	35.79**	34.78**
Linoleico	45.61**	43.26**	45.82**	47.51**
Linolénico	0.83**	0.82**	0.83**	0.85**

A= maíz nativo contaminado, A' = maíz híbrido contaminado,

B = maíz nativo no contaminado, B' = maíz híbrido no contaminado

\* Niveles expresados en g/kg

\*\* Niveles expresados en mg/kg

En los maíces híbridos contaminados con micotoxinas se detectó un incremento en los ácidos grasos palmítico, esteárico y oleico, y una disminución de los ácidos grasos linoleico y linolénico de manera aritmética, sin embargo, el análisis estadístico mostró una significancia de  $p > 0.05$  para el ácido graso palmítico, y de los ácidos grasos palmítico, esteárico, ecosanoico y behénico en los maíces nativos, todos los ácidos grasos alterados de cadena larga  $< 20$  carbonos y sin ninguna insaturación (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Análisis de varianza para los ácidos grasos  $< 20$  C, de genotipos de maíz híbrido y nativo.**

	<b>Maíz nativo</b>	<b>P&lt;</b>	<b>Maíz híbrido</b>	<b>P&lt;</b>
Ácido palmítico	0.611	0.0280	3.576	0.017
Ácido esteárico	0.0020	0.001	-	-
Ácido araquídico	0.0020	0.0001	-	-
Ácido behénico	0.0026	0.001	-	-

## DISCUSIÓN

El alto contenido de grasa en los maíces híbridos se debe a su mejoramiento genético, como lo indica Matha *et al.* (2017), quienes detectaron un amplio rango (2.5 a 7.17%) en maíces adaptados al trópico; sin embargo, este incremento se pudo deber a la presencia de hongos y micotoxinas, ya que, como se observa en el grupo de maíces sin contaminación, el contenido de grasa fue menor (5.34%), de acuerdo con Giorni y colaboradores (2015). También es importante considerar que la técnica del NIRS, requiere de una correcta calibración del equipo y de la realización de ecuaciones, o de lo contrario se pueden obtener errores en la determinación (Fernández y colaboradores, 2009).

En México, la presencia de aflatoxinas en el maíz ha sido atribuida a las condiciones ambientales que prevalecen en muchos estados productores de maíz, entre los factores ambientales se encuentran: la temperatura (30 °C) y humedad relativa (Aw 90), las cuales son condiciones que favorecen la instalación y el desarrollo del hongo *Aspergillus flavus*; además, el manejo agronómico del cultivo como: la fecha de siembra, el número de fertilizaciones, el uso de plaguicidas, y la presencia de insectos son factores que ocasionan un desequilibrio en la microflora del suelo (favoreciendo a los hongos patógenos), lo cual se puede atribuir a los resultados de la contaminación de micotoxinas detectada en maíz híbrido procedente del estado de Morelos, donde se observó la mayor contaminación por aflatoxinas que en el maíz nativo procedente de la Ciudad de México. En este estudio se detectaron aflatoxinas en ambos genotipos con niveles de aflatoxinas dentro de los límites máximos permitidos por la regulación nacional (20 ppb), pero por encima de la regulación europea (4 ppb), como lo señala Van Egmond *et al.* (2007).

Los niveles de contaminación por micotoxinas se concentraron dentro de los límites máximos permisibles, sin embargo, se debe considerar que las fumonisinas se determinaron mediante la técnica de flujo lateral, la que utiliza una extracción con solventes orgánicos, que

posiblemente no pudo extraer la totalidad de las micotoxinas, ya que como lo indica De Girolamo A. *et al.* (2001) el error en la extracción en los diferentes métodos de análisis de micotoxinas puede variar de 47% al 68%, por lo que pudo existir una subestimación en sus niveles. También la matriz o adsorbente utilizado en la fijación del anticuerpo dentro de esta técnica pudo ocasionar interferencias en la detección (Anfossi *et al.*, 2016); por lo que actualmente el uso de sensores para la detección de micotoxinas basados en aptómeros evita este tipo de inconveniencias como lo describen Xu *et al.* (2016).

La presencia de fumonisinas en el maíz, detectada en nuestro estudio, concuerda con Dvorak *et al.* (2008), lo que indica que las fumonisinas permanecen aún después del tratamiento térmico de nixtamalización, y que la interacción planta-hongo no ha sido controlada completamente en el campo.

La coexistencia detectada de aflatoxinas y fumonisinas concuerda con lo señalado por Abbas *et al.* (2006), Bankole *et al.* (2004) y Soleimany *et al.* (2011), lo que representa un peligro para la población, debido a la posibilidad de un sinergismo de los efectos tóxicos de cada micotoxina ya que, de acuerdo con Bulder (2012), un contenido de 42 mg/kg de fumonisinas (menor a 1 mg/kg), que es la dosis recomendada, es suficiente para provocar cáncer hepático en roedores Waskiewicz *et al.* (2012).

El incremento de lípidos observado en este estudio se debió probablemente a la interacción entre la planta y los hongos patógenos, principalmente en los genotipos de maíz mejorados por contener mayor contenido de nutrientes que ayudan a los hongos en su desarrollo y sobrevivencia (Scarpari *et al.*, 2014), y que la resistencia genética de algunos maíces híbridos frente al *Fusarium sp.* es un carácter de alta variabilidad, como ha sido expresado por Mendoza *et al.* (2003), y el cual no pudo expresarse bajo las condiciones ambientales del estado de Morelos.

Los ácidos grasos de cadena larga, menor a 20 carbonos (< 20 C), como los ácidos grasos palmítico y esteárico forman parte de los esfingolípidos, que son bio-moléculas blanco de las fumonisinas, y que actúan

inhibiendo selectivamente su formación, por lo que en ambos genotipos contaminados con fumonisinas, el ácido palmítico se incrementó por la presencia de fumonisinas; además este ácido palmítico ha sido asociado con la resistencia a la insulina en pacientes con sobrepeso u obesidad (Ávila *et al.*, 2018; Sanjeev *et al.*, 2014; Scarpari *et al.*, 2014; Kahrman *et al.*, 2015).

El perfil lipídico ha sido estudiado en muestras biológicas (suero) de acuerdo con Sambra *et al.* (2015), donde se ha observado que es más importante la calidad de las grasas, es decir, la composición de los ácidos grasos de la grasa dietaria, que la cantidad que se ingiere en pacientes con obesidad.

## CONCLUSIÓN

Nuestro estudio demostró la variación en el contenido de grasa total entre los genotipos de maíz, la que se relacionó con el incremento de ácidos grasos, principalmente de cadena larga (< 20 C), en particular del ácido graso palmítico por efecto de la contaminación por fumonisinas.

Se detectó la contaminación por micotoxinas en ambos genotipos de maíz procedentes del estado de Morelos y de la Ciudad de México. Los niveles de aflatoxinas se encontraron dentro de la regulación nacional, sin embargo, fuera de la reglamentación europea, y los niveles de fumonisinas dentro de las recomendaciones establecidas por organizaciones internacionales.

Se detectó la presencia simultánea de aflatoxinas y fumonisinas en los maíces híbridos del estado de Morelos, con la mayor presencia de fumonisinas (28.57%), que en los maíces nativos de la Ciudad de México, en los que se detectaron principalmente las aflatoxinas (55.5%).

Es necesario continuar este estudio para obtener una mayor información sobre la calidad de las grasas y la contaminación con micotoxinas

que ayude a mantener la calidad e inocuidad del maíz (un importante cereal por su alto consumo en el territorio nacional) si se busca ofrecer alimentos seguros y contar con una población saludable.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbas, K. *et al.*, 2006, "Aflatoxin and fumonisins contamination of corn hybrids in Arkansas", en *Crop Protection* 25 (1): 1-9.
- Anffosi, L. *et al.*, 2016, "Mycotoxin detection", en *Curr. Opin. Biotechnol* 37: 120-126.
- Antonissn, G. *et al.*, 2014, "The impact of Fusarium mycotoxin on human and animal host susceptibility to infectious diseases", en *Toxins* (82): 340-352.
- Ávila, A. *et al.*, 2018, "Síndrome metabólico en niños de 6 a 12 años con obesidad en escuelas públicas de 7 municipios del Edo. de México", en *Salud Pública de México* 60(4).
- Bankole, A. y O. Mabekoje, 2004, "Occurrence of aflatoxins and fumonisin in pre-harvest maize from South western Nigeria", en *Food Addit Contam* 21(3): 251-255.
- Burger, M. *et al.*, 2013, "The mycotoxin distribution in maize milling fractions under experimental conditions", en *Intern. Journal of Food microbiology* 165: 57-64.
- Codex Alimentario, 2001, Informe 33 Reunión del Comité del Codex alimentario sobre aditivos y contaminantes, La Haya, Holanda.
- De la Torre, Ma. E. y D. Sánchez., 2014, "Fumonisin: síntesis y función en la interacción Fusarium verticillioides- maíz", en *TIP*, 17(1).
- De Girolamo, A. *et al.*, 2001, "Comparison of different extraction and clean-up procedures for the determination of fumonisins in maize", en *Food Add. and Contam* 18(1): 59-67.
- Egesel, O. y F. Kahrman, 2012, "Determinant of quality parameters in maize grain by NIR reflectance spectroscopy " en *Journal Agricultural Sciences* 18: 31-42.

- Eldoom, A. y H. Mohammed, 2018, "Chronic disease prevention particularity focus on obesity", en *Advances in clinical Toxicology* 3(2).
- Fernández, V. *et al.*, 2009, "Application of near infrared spectroscopy for rapid detection of aflatoxin b1 in maize and barley as analytical quality assesment", en *Food chemistry* 113(2): 629-634.
- Flock, R. *et al.*, 2013, "Long chain omega -3-fatty acid time to establish a dietary reference intake", en *Nutrition Reviewers*, 71 (10): 692-707.
- GLOBOCAN, 2012, Estimated cancer incidence, mortality and prevalence worldwide in 2012, en [www.globocan.iarc.fr](http://www.globocan.iarc.fr)
- Gaona, E. *et al.*, 2018, "Dietary intake and adequacy of energy and nutrients in Mexican adolescents: Results from Ensanut 2012", en *Salud Publica Mex* 60: 404-413.
- Giorni, P. *et al.*, 2015, "Open field study of some Zea mays hybrids, lipid compounds and fumonisins accumulation", en *Toxins* 7: 3657-3660.
- Gutiérrez, R. *et al.*, 2016, *Técnicas de análisis del laboratorio de Instrumentación*, UAM-X, México.
- Herrera, H. y A. García, 2011, *Bioestadística en ciencias veterinarias (procedimientos de análisis de datos con SAS)*, Universidad Complutense de Madrid, 9-134.
- Kuminholm, H. *et al.*, 2008, "Aflatoxin exposure and viral hepatitis", en *Env. Health Perspectives*, 116: 1553-1557.
- Li, B. *et al.*, 2014, "Intake of vegetable and fruit and risk of oesophageal adenocarcinoma", en *Eur J. Nutr* 53 (7): 1511-1521.
- Marasas, F. *et al.*, 2004, "Fumonisin disrupt sphingolipid metabolism, folate transport, and neural tube development in embryo culture and *in vivo*: a potential risk factor for human neural tube defects among populations consuming fumonisin-contaminated maize", en *Journal of Nutrition* 134: 711-716.
- Martha, H. *et al.*, 2017, "Chemical composition and genetics of Indonesian maize hybrids", en *American Journal of Food Technol* 12(2): 116-123.

- Mendoza, M. *et al.*, 2003, "Herencia genética y citoplásmica de la pudrición de la mazorca del maíz (*Zea mays* L.) causada por *Fusarium moniliforme* Sheld", en *Revista Mexicana de Fitopatología* 21(3): 267-271.
- Martínez, M. *et al.*, 2013, "Aflatoxinas. Incidencia, impactos en la salud, control y prevención", en *Biosalud* 12(2): 89-109.
- Peña, S., 2006, "Detection of fumonisins in maize (*Zea mays* L.) by three analytical techniques (HPLC, TLC and ELISA)", en H. Njapau, S. Trujillo (Eds.), *Mycotoxins and Phycotoxins Advances in determination, toxicology and exposure management*, Hans van Egmond and Park D. Wageningen Academic Publishers, The Netherlands.
- Pérez, C. y C. Guerrero, 2006, "Ácidos grasos en la dieta Diabetes mellitus e insulino resistencia", en *Rev. Fac. Med* 54(2).
- Reglamento (CE) No. 1126/2007, Se fija el contenido máximo a las toxinas del *Fusarium* en el maíz y los productos del maíz.
- Soleimany, F. *et al.*, 2011, "Simultaneous detection of 12 mycotoxins in cereals", en *Food Addit. Contam. A*. 28: 494-501.
- Scarpari, M. *et al.*, 2014, "Lipids in *Aspergillus flavus*-maize interaction", en *Front Microbiol*, 5(74).
- Stepien, M. *et al.*, 2016, "The role of diet on cancer", en *Salud Pública de Méx.* (SI) vol 58(2): 261-273.
- Torres, L. y C. López, 2010, "Consumo de fumonisinas y daños a la salud humana", en *Salud Pública de México* 5(5).
- Torres, K. *et al.*, 2011, "Liver cirrhosis and hepatocellular carcinoma in Mexico: impact of chronic infection by hepatitis viruses B and C", en *Annals of Hepatology* 10: 556-558.
- Van Egmond. P. *et al.*, 2007, "Regulations to mycotoxins in food", en *Anal Bioanal. Chem.* 389: 147-157.
- Wong, R. y Y. Harley, 2009, *Lateral Flow Immunoassay*, Springer, Humana Press, Nueva York, EUA.
- Xu, L., *et al.*, 2016, "Mycotoxins determination in food using advances sensors based on antibodies or aptomers", en *Toxins* 8: 239.
- Waśkiewicz, A. *et al.*, 2012, "Occurrence of fumonisin in food A interdisciplinary approach to the problem", en *Food Control* 26: 491-499.

# Cuatro aportes de alimentos y edulcorantes con amplia oferta comercial sugeridos con frecuencia para la alimentación de la tercera edad.

Martha Coronado Herrera,<sup>1</sup> Salvador Vega y León,<sup>1</sup> Rey Gutiérrez Tolentino,<sup>1</sup> Claudia Cecilia Radilla Vázquez,<sup>2</sup> y Carlos Alpizar López.<sup>1</sup>

**Resumen.** *El objetivo de este presente artículo es presentar cuatro tipos de alimentos funcionales, frescos o procesados, y edulcorantes o sustitutos de azúcar de mayor oferta-demanda en el mercado actual. Se plantea el uso en la industria alimentaria de los alimentos funcionales como: los alimentos o productos que contienen fibra, antioxidantes, omega-3, o aquellos alimentos con adición o eliminación de algún componente dietario, y edulcorantes que se encuentran dirigidos a la población en general y a la tercera edad en particular, con una respuesta de éxito en el mercado, mejor conocidos por el consumidor como alimentos saludables. Se plantean funciones de cada uno de estos alimentos o productos en el organismo humano, así como la mejoría del estado de salud tras su consumo con respecto a diversas enfermedades crónico degenerativas, y se analizan algunos datos sobre el envejecimiento humano. Finalizando con la recomendación del consumo de estos alimentos para este grupo etario, mejorando su calidad de vida.*

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, e-mail: reygut@correo.xoc.uam.mx.

<sup>2</sup> Departamento de Atención a la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

**Palabras clave:** *Fibra, antioxidantes, edulcorantes, envejecimiento.*

**Abstract.** *The aim of this paper is to present four functional foods, fresh or processed and sweeteners or sugar substitutes of major supply and demand offered currently on the market. Apply on the food industry of the functional foods like: foods or products with content of fiber, antioxidants, omega -3, with or without some component, and some sweeteners. All of them actually offered to general population, particularly to elderly people. Has been successfully accepted on the market and the consumer knows them as healthy. It also suggests the functions on each type of food or products in the human organism, and health's improvement regarding some generative diseases, and some data of human aging is analyzed. Finishing with the recommendation of consumption of this food for this age group improving their quality of life.*

**Keywords:** *Fiber, antioxidants, sweeteners, aging.*

## INTRODUCCIÓN

Todo adulto mayor desea un envejecimiento exitoso como lo plantea Curcio (2014). Este concepto, de orden psicológico, está basado en las teorías del envejecimiento: en la primera, de desvinculación, de Cumming y Henry, en 1961 (citado por Curcio, 2014), se propone un abandono de los roles sociales e interacciones; en la segunda, de actividad, de Havigurst y Alrecht, en 1953 (citado por Curcio, 2014) y Maddox, en 1963, se plantea una etapa de oportunidades, en tanto que es activo el adulto mayor tendrá más satisfacciones y envejecimiento saludable. Si este último concepto fuese el objetivo de los individuos habría que incluir como elemento fundamental la salud, y con ésta, la alimentación, lo que veremos en este artículo.

Sin embargo, antes de hablar de alimentos es importante mencionar otras teorías del envejecimiento, más bien de tipo biológico, lo

que implica factores ambientales y genéticos. Existen alrededor de 300 teorías (Romero *et al.*, 2016) para intentar explicar el envejecimiento; una de las más populares, por su mayor difusión, es la de los radicales libres de Harman (1956), la cual conduce a la acumulación de moléculas tóxicas, por el llamado estrés oxidativo. Este fenómeno podría mejorarse con una propuesta dietaria que incluya alimentos con antioxidantes externos, como la vitamina E o la vitamina C, entre otros que se analizarán más adelante (Moreno, 2016).

Existe otra teoría que indica que los individuos tienen un reloj biológico con una carga genética ineludible que determina el inicio del envejecimiento. De igual manera, se ha estudiado la teoría genética de la programación (acortamiento de telómeros) y del error (productos metabólicos de desgaste).

Cabe recordar que el envejecimiento es individual, es una expresión del estilo de vida, y que cuando la ciencia médica avanzó también cambió la calidad de vida y la longevidad, por lo que hoy la esperanza de vida alcanza rango de edades más allá de los 80 años, incluso la especie humana podría lograr llegar hasta los 120 años (Rubio *et al.*, 2015).

También la literatura señala (Hazen, 2014) que hoy, de los 600 millones de personas en este grupo (tercera edad), 370 viven en países en desarrollo, y se calcula que para 2020 el número aumentará y 70% (de mil millones de personas mayores) vivirán en estos países. En la actualidad, 5 países incluyen, mayoritariamente, la población de la tercera edad, éstos son: China, India, Estados Unidos, Japón y Rusia.

Por otra parte, aspectos a valorar, referidos a la salud, indican la aparición de dolencias diversas asociadas con el desgaste de células y órganos, como si se tratase de una máquina cuyo funcionamiento se deteriora con el tiempo de uso (Alvarado *et al.*, 2017). Así, pueden presentarse problemas respiratorios, osteoporosis, insuficiencia cardiaca congénita, hipertensión, depresión, fracturas de huesos, disminución del potencial inmunológico, diabetes, pérdida del tejido muscular, pérdida de la capacidad sensorial (olfato y gusto) (Hazen, 2014). Además, la pér-

didada de elasticidad de vasos sanguíneos cardiovasculares, disminución de la velocidad de filtración de los riñones y, en consecuencia, menor eliminación de desechos tóxicos del organismo. También se presenta disminución de secreciones salivales, biliares, digestivas y pancreáticas; no hay tampoco suficiente fuerza motora del estómago y disminuyen las hormonas gastrointestinales; disminución de síntesis de compuestos biológicos y de absorción de nutrientes (vitaminas B12, A y D, hierro, ácido fólico, zinc y calcio), entre otros problemas asociados con la vejez (Mañan, 2013).

Entre estos problemas, la pérdida del gusto y el olfato afectan la fase cefálica de la digestión (secreciones salivares y estomacales, pancreáticas e intestinales), la cual tiene como finalidad lograr la meta final, que es absorber los nutrimentos (Alvarado *et al.*, 2017; Ortiz *et al.*, 2012). Por ello, hay que vigilar la alimentación, y en consecuencia la nutrición, de los sujetos de la tercera edad, los cuales comen porciones individuales más pequeñas, ya que se observa una reducción en la percepción del hambre o mayor saciedad inmediata, lo cual a veces se asocia con su pérdida de peso.

También ocurren cambios en la variedad de alimentos que consume el adulto mayor, de ahí la importancia de resaltar aquellos productos atractivos para incentivar el consumo, y que hoy están en la oferta comercial, tales como los alimentos funcionales y edulcorantes, que se incluyen en este artículo.

## **Alimentos funcionales**

Como aspecto fundamental de los aportes alimentarios que se analizan en este texto, cabe señalar que todos están incluidos en lo que hoy se denominan alimentos funcionales, por lo que se hará un breve señalamiento al respecto.

Como lo indica la literatura (Martirosyan y Singh, 2015), estos alimentos tienen como fuente primaria los nutrimentos requeridos por el organismo humano (macro y micronutrientes), sin embargo, se agregan

otros componentes que aportan beneficios fisiológicos (fibra, antioxidantes, esteroides vegetales, entre otros). También es de considerarse que pueden ser de origen vegetal o animal y se biosintetizan porque su metabolismo celular los produce con el objetivo de cumplir una función específica, y que después forman parte del consumo dietario de los humanos. Se incluyen alimentos procesados que resultan benéficos al incorporar componentes industrializados que se han aislado o purificado de fuentes alimentarias naturales, y se utilizan para propiciar una adición de nutrientes. Éstos son los llamados “alimentos diseñados” y que hoy se ofertan en el mercado saludable (Vega, 2003).

Hay que recordar que los alimentos además de saciar el hambre, también deben cubrir requerimientos nutrimentales, por ello los consumidores actuales son más cuidadosos en la selección de sus alimentos diarios. Debido a esto, los alimentos funcionales cumplen más de un objetivo dietario, independientemente de una nutrición adecuada, coadyuvan para prevenir el riesgo de enfermedades, lo que favorece a las personas de la tercera edad (Aiello *et al.*, 2016).

En la oferta comercial de la actualidad, hablando de alimentos funcionales, se encuentran productos con la eliminación de algún componente (bajo en sodio, azúcar o ácidos grasos saturados) que no se considera benéficos para la salud. Algunos incluyen compuestos saludables como vitaminas, minerales, ácidos grasos omega-3, antioxidantes, fibra, entre otros (Coronado *et al.*, 2015).

Cabe aclarar que en este artículo sólo se abordarán cuatro tipos de alimentos y edulcorantes, asociados a problemas específicos de salud en la tercera edad.

- a) Fibra soluble e insoluble para problemas que involucran el tránsito intestinal.
- b) Antioxidantes para problemas asociados con los procesos de estrés oxidativo, neurodegenerativos, daño hepático o gástrico, alteraciones del sistema inmunológico.

- c) Alimentos con ácidos grasos omega-3 asociados con problemas cardiovasculares.
- d) Alimentos con disminución o eliminación de algún componente como grasa, sodio o azúcar. Algunos denominados sin, *reducidos o bajos en*.
- e) Edulcorantes o sustitutos de azúcar (sucralosa, aspartame, stevia, acesulfame K, entre otros), asociados con el cuidado de la diabetes y la obesidad.

## Fibra y problemas intestinales

Se reconocen como una mezcla de productos vegetales con celulosa (zanahoria, col, verduras, cereales), acompañada con hemicelulosa o pectinas (parte blanca de la cáscara de los cítricos o en frutos como membrillo o tejocote), gomas, almidones resistentes o inulina. Todos éstos son polímeros de hidratos de carbono. También se consideran otros que no son hidratos de carbono como fitatos y saponinas (Elleuch *et al.*, 2011). La fibra dietética se integra en las paredes de las células vegetales como parte comestible, considerados hidratos de carbono análogos, resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, y con un poco o total fermentación en el intestino grueso (Fuller *et al.*, 2016).

Es importante señalar que toda la fibra vegetal no es digerible por las enzimas humanas. Aunque en el intestino grueso puede ocurrir alguna digestión por actividad de enzimas de la flora bacteriana (25% peso/seco de heces son flora bacteriana), con lo cual se liberan hidratos de carbono simples.

Se pueden considerar dos tipos de fibra: la insoluble (cascarilla de trigo, la cual no transforma su estructura), que se caracteriza por su porosidad, su baja densidad y su participación en el aumento del bolo fecal, agilizando el tránsito intestinal (Almaraz *et al.*, 2015; Hazen, 2014; Elleuch *et al.*, 2011). Este tipo de fibra no sólo apoya el mejor funciona-

miento intestinal en personas de la tercera edad, también ayuda a controlar el peso y a regular la colesterolemia, la glucemia y la hipertensión (Dreher, 2018; Almeida *et al.*, 2014). Y la fibra soluble (como en el caso de los nopales, frijol, garbanzo y avena), si bien no se digiere, tiene la capacidad para formar geles, ayudando a disminuir la absorción de grasa en el intestino o puede inhibir la formación de grasa por parte del hígado, disminuyendo los niveles de colesterol total y los triacilglicéridos en sangre, así como los niveles de glucosa, resultando benéfico para personas con diabetes y problemas cardiovasculares (Almeida *et al.*, 2014).

En cuanto a digestibilidad de los alimentos con fibra, si ésta es menor, habrá un mayor poder laxante (Fuller *et al.*, 2016). Se ha estudiado que los chícharos tienen 47% de digestibilidad, el betabel 35%, las zanahorias 26% y la col 20%. En este marco, es mejor consumir fibra de vegetales tipo ensalada (col, lechuga, zanahoria) que salvado de cereales (Miranda, 2010).

Cabe advertir que si la dieta habitual del individuo es baja en fibra ocurrirá putrefacción en el intestino grueso (Miranda, 2010). Así como el exceso de fibra dietética en la alimentación no es saludable, en tanto podría causar obstrucción intestinal, flatulencias y malestar intestinal, y causar interferencia en la absorción de micronutrientes como el calcio o el zinc (Baute, 2012). Igualmente, es aconsejable un consumo suficiente de agua todos los días.

## **Fibra para la industria alimentaria: recomendaciones de consumo y uso de fibra en algunos alimentos**

En la actualidad, el mercado de alimentos procesados con fibra va en aumento y por ello alimentos naturales ricos en fibra se incorporan como agentes que dan volumen, sin contener calorías, y se utilizan en lugar de harina, grasa o azúcar, como retenedores de agua, de aceite y para mejorar las emulsiones o lograr estabilidad oxidativa. Sin embargo, la

cantidad de fibra utilizada tiene que cuantificarse para evitar cambios organolépticos negativos en el producto.

En estos procesos se utiliza fibra de: avena, trigo, salvado de arroz, frijol, manzana, naranja, piña, limón, zanahoria, coliflor, entre otros, para la elaboración de bebidas, confitería, lácteos, carnes, pastas, sopas, repostería y panadería, estos últimos pueden prolongar su frescura debido a la retención de agua que proporciona la fibra, y en el caso de yogur y productos fermentados se evita la sinéresis (superficie con gotas de agua). También en el surimi se utiliza fibra para mantener la dureza del gel durante el congelado. Además en hamburguesas o embutidos pueden reemplazar la grasa (Elleuch *et al.*, 2011; Cañas *et al.*, 2011). Se recomienda adquirir en el mercado productos reducidos en calorías con fibra, no sólo por el efecto de saciedad que producen, sino porque aportan menos calorías (Sánchez, 2008) (Cuadro 1).

### **Cuadro 1. Sugerencias de alimentos de consumo usual, ricos en fibra**

Chícharos cocidos, espinacas cocidas, guayaba cruda, almendra, arándano, apio crudo, avena, garbanzos cocidos, kiwi, manzana/cáscara, naranja, nuez, pera cruda, zanahoria (sin piel hervida), nopales cocidos, hojas verdes, ejotes, brócoli, acelgas, verdolagas, pan integral, papa cocida con cáscara, tortilla blanca, semilla de calabaza, tortilla de trigo integral. Todos son buena fuente de fibra soluble o insoluble.

Fuente: Modificado de Miranda, 2010.

## **Antioxidantes y envejecimiento humano**

El interés de alimentos con antioxidantes exógenos se apoya en las diversas teorías del envejecimiento que numerosos grupos de investigación

estudian en la actualidad. Entre otras, una de las más analizadas es la del estrés oxidativo de Denham (1956, citado por D'Hyver, 2006), él plantea que este proceso molecular es diferente al estrés cotidiano de trabajo, familiar u otro (Reyes *et al.*, 2011).

Al respecto, el organismo humano tiene dos vías de defensa contra el estrés oxidativo que alteran diferentes sistemas del organismo durante el envejecimiento (inmunológico, neurológico, hepático, entre otros).

Uno de estos mecanismos es el endógeno, que incluye un aparato enzimático para neutralizar la producción de moléculas no benéficas (radicales libres) y, que al envejecer va disminuyendo y coadyuva en el estrés oxidativo.

Cabe recordar que el organismo humano enfrenta todos los días la producción normal de radicales libres que pueden ser contrarrestados por sistemas endógenos de protección (enzimáticos). Así los radicales libres se producen de manera normal en el organismo durante el metabolismo celular, sobre todo en las mitocondrias, en donde actúa un sistema enzimático particular (lipoxigenasas, peroxidadas, entre otras) (Llancari y Matos, 2011). Éstos contribuyen a la defensa del organismo contra infecciones bacterianas o virus (Delgado *et al.*, 2010) y la concentración de los mismos está mediada por los sistemas antioxidantes endógenos señalados. Sin embargo, cuando la producción de estas moléculas proviene de fuentes exógenas como alimentos altos en grasa (carnes, aderezos, embutidos, frituras), exposición a productos químicos, consumo excesivo de alcohol, contaminantes del medio ambiente o radiaciones (luz UV), se eleva su concentración (Llancari y Matos, 2011) y ocurre un desequilibrio de los sistemas de protección endógenos, con la consecuente acumulación que se convierte en nociva y conduce al denominado estrés oxidativo que causa los siguientes efectos adversos en el organismo:

- 1) Daños celulares intensivos y se afectan las proteínas, con deterioro de la actividad hormonal y enzimática.
- 2) Se afectan los ácidos grasos y se presenta lipoperoxidación por

afectación de los fosfolípidos de la membrana bilipídica de las membranas celulares.

- 3) Se propician cambios en la estructura molecular de las membranas, lo cual causa la falta de permeabilidad y estabilidad de la misma.
- 4) Deterioro del ADN que daña los genes y produce mutaciones, reordenamientos cromosomales, activación o inactivación de las cadenas genéticas (González *et al.*, 2015; Mañan, 2013; Delgado *et al.*, 2010).

Al respecto, el estrés oxidativo es considerado por algunos investigadores (Obrenovich *et al.*, 2011) como la raíz del envejecimiento de tejidos y proteínas que forman parte de la teoría de Denham, antes señalada. Como se indicó, todo organismo humano cuando envejece pierde la eficiencia de sus diferentes sistemas; se considera que se puede perder hasta 1% de esa funcionalidad a partir de los 30 años de edad (Mañan, 2013). El daño por radicales libres es inevitable y se acumulan con la edad, no sólo en aquellos individuos con algún padecimiento, sino también en los sanos.

Así, los antioxidantes son moléculas que pueden reaccionar con los radicales libres para proteger del daño celular, e impiden o retrasan la oxidación de los ácidos grasos en alimentos o en el organismo humano (Mañan, 2013). Un antioxidante dietario o exógeno es aquel que neutraliza la presencia de radicales libres que tienen alta presencia durante el envejecimiento (Navarro *et al.*, 2017). En este marco en la actualidad los antioxidantes naturales son tema de amplia investigación.

Los antioxidantes exógenos se derivan de químicos vegetales (fitoquímicos) que incluyen polifenoles (flavonoides, antocianinas, catequinas, entre otros) (Rodríguez *et al.*, 2015). Los compuestos fenólicos se han considerado como neuroprotectores. El resveratrol (vino) reduce la muerte de las células neuronales inducida por la oxidación de lipoproteínas. También en algunas patologías de la vejez (Parkinson, daño isquémico) se ha analizado la neuroprotección del té verde (polifenoles), o la mejoría de la memoria o la expresión genética asociada con el aprendizaje. Asimismo, en otros estudios (con animales) se ha relacionado

la mejoría en procesos cognitivos de la vejez con dietas que incluyen arándanos, otros frutos rojos o espinacas (Rodríguez *et al.*, 2016; Conti *et al.*, 2016; Hazen, 2014).

La vitamina E (tocoferol) que puede encontrarse en el germen de trigo, en frutos secos, aceites de semillas y cereales; la vitamina C (hidrosoluble), que la contienen todos los cítricos (limón, naranja, mandarina, lima) y la vitamina A (liposoluble) que se encuentra en hígado de pescado, lácteos, verduras y frutas verdes o amarillas, son fuentes de antioxidantes, sin embargo, cabe advertir que una dosis excesiva de vitamina A puede causar dolores de cabeza, ceguera nocturna y debilitamiento de huesos (Llancari y Matos, 2011).

En el caso de diabetes tipo 2, los flavonoides del chocolate amargo ayudan a reducir la resistencia a la insulina, además de considerarse con bajo índice glicémico (Ibero *et al.*, 2017). El chocolate amargo también se relaciona con el estímulo al cerebro para liberar endorfinas por su contenido de feniletilamina (Kate *et al.*, 2017), y contiene antioxidantes como procianidinas y sus precursores: Epicatequinas y catequinas. Estos compuestos pueden inhibir la oxidación de las LDL (lipoproteínas de baja densidad) y aumentar las HDL (lipoproteínas de alta densidad), y en general reducir el estrés oxidativo y mejorar la función vascular cerebral en el adulto mayor (Ibero *et al.*, 2017; Lamport *et al.*, 2015).

En la actualidad, la industria alimentaria ha desarrollado diversos productos con antioxidantes como jugos (jugo de arándanos) de frutas y verduras procesadas, mermeladas, todos con oferta en el mercado. Así cada individuo puede optar por una alimentación con antioxidantes exógenos, de acuerdo con la disponibilidad, precio o información sobre sus aportes nutrimentales (Benzie y Choi, 2014) (Cuadro 2).

## Cuadro 2. Sugerencias para el consumo de alimentos con antioxidantes

<b>Naturales</b>	Germen de trigo, maíz, almendras, avellana, nuez, cacahuate, aguacate, apio, guayaba, jitomate, espinaca, piña, brócoli, frutos rojos.
<b>Procesados</b>	Jugo de arándano, arándano seco, mermelada de arándano, frambuesa y fresa, galletas con arándano.

Fuente: Modificado de Benzie y Choi, 2014; Seo *et al.*, 2016; Coronado *et al.*, 2015.

## Ácidos grasos omega-3 y problemas cardiovasculares

Las enfermedades propias de la civilización se asocian con el metabolismo de lípidos y su frecuente relación con problemas cardiovasculares (Pérez *et al.*, 2018), además de otros como diabetes, depresión, enfermedades autoinmunes, problemas de la piel e incluso cáncer. La relación más estudiada ocurre con las grasas saturadas, los ácidos grasos *trans* y bajo consumo de ácidos grasos omega-3. Éstos últimos se identifican como poliinsaturados, característica que le confiere un mecanismo metabólico benéfico (Coronado y Vega, 2010). Entre éstos los más conocidos son el eicosapentanoico (EPA) y el docosaheptanoico (DHA) (Valenzuela y Valenzuela, 2014), además del ácido graso alfa linolénico y linoleico. Respecto a lo nutrimental, se ha planteado que la relación de ingesta entre ácidos grasos omega-3: omega-6, debe considerarse en 1:2.

Habrá que recordar que los ácidos grasos esenciales, como el EPA, DHA y alfa linoleico (AL, omega-3) deben consumirse en la dieta porque el organismo humano no los biosintetiza. De hecho, al provenir de la dieta, los ácidos grasos linoleico y alfa linolénico, durante su metabolismo,

conducen a la síntesis de ácido graso araquidónico (ARA, omega-6), y los omega-3, EPA y DHA, los cuales a su vez son precursores de otras moléculas fundamentales para la salud.

### **Aspectos relevantes de salud asociados con el consumo de ácidos grasos omega-3, omega-6 u omega-9**

En regiones donde se consume la denominada “dieta mediterránea”, con una alta ingesta de los ácidos grasos mencionados, y que incluye aceite de oliva, moderado consumo de vino, menos leche y más queso, frutas, vegetales silvestres, panes fermentados, nueces, aceitunas, más pescado y menos carne de res, se han observado tasas bajas de problemas cardiovasculares (Urquiaga *et al.*, 2017). Tal es el caso de los esquimales en Groenlandia, así como en Alaska y Japón, donde se señala un alto consumo de aceites de pescado y de mamíferos marinos, ricos en ácidos grasos omega-3 (Castellanos y Rodríguez, 2015).

Un estudio relevante es del Grupo Italiano para el Estudio de la Supervivencia del Infarto al Miocardio (GISSI-prevenzione), que al utilizar un suplemento de 1000 mg/d de omega-3 por tres años y medio, observaron en pacientes con enfermedad miocárdica un menor riesgo de muerte súbita (Castellanos y Rodríguez, 2015).

Otros aspectos a reconocer es que los ácidos grasos omega-3 se integran a los fosfolípidos de la membrana celular, participan en los tejidos de la retina y corteza cerebral, y una parte menor se observa en el tejido adiposo hepático y muscular. En este marco de funciones, los ácidos grasos omega-3 coadyuvan además en la salud de pacientes diabéticos tipo 2, con resistencia a la insulina (interrupción de la entrada de la glucosa hacia la célula), y mejora con una membrana más flexible por acción de estos ácidos grasos (Castellanos y Rodríguez, 2015).

Agregado a lo anterior, otros eventos importantes se asocian con la mejoría en padecimientos inflamatorios como lupus eritematoso

sistémico y artritis reumatoide, además de disminución de problemas relacionados con el hígado graso y en mecanismos regulatorios del metabolismo de colesterol (Rodríguez *et al.*, 2015).

Un dato asociado es el consumo del ácido graso omega-9 (aceite de oliva / ácido graso oleico), que durante el metabolismo lipídico puede convertirse en omega-3 y resultar benéfico para la salud. El omega-9 puede inhibir la acumulación de placas lipídicas en las paredes arteriales (aumenta las HDL y baja las LDL), lo cual evita ataques cardiacos u otros padecimientos cardiovasculares (Castellanos y Rodríguez, 2015).

En otra investigación, Mouret (2015) utilizó una dieta de 4g diarios de aceite de pescado (1.86 g de EPA y 1.5 g de DHA), lo cual propició un aumento significativo de la síntesis de proteínas musculares. Se aumentó el DHA en las membranas celulares del músculo, lo cual puede implicar un cambio benéfico de la membrana celular y su fluidez. Lo anterior, al aplicarse a un grupo de personas de la tercera edad (1.86 g de EPA y 1.5 g de DHA durante 8 semanas), lo que les permitió aumentar la síntesis de proteína muscular, y parece mejorar el catabolismo del tejido muscular (pérdida de masa muscular), provocado por el envejecimiento. En otros estudios, con el consumo de aceite de pescado (2 g al día) han propiciado ganancia en fuerza muscular y capacidad funcional (Mouret, 2015).

Así, el análisis indica que el ácido graso EPA puede disminuir la actividad proteica muscular catabólica. También el aceite de pescado puede asociarse al efecto anticatabólico por la reducción del cortisol, molécula que rompe el tejido muscular, además de otros efectos no benéficos. Al reducirse la producción de cortisol también se evita inhibir el uso de la insulina en caso de pacientes diabéticos, o la síntesis de ácidos grasos poliinsaturados como el omega-3 (Sánchez, 2016).

Estos ácidos grasos omega-3 (DHA y EPA) también se sugieren para apoyar la salud de los procesos cognitivos de personas de la tercera edad (Prados *et al.*, 2015; Nilsson *et al.*, 2012). Se ha explorado esta relación utilizando aceite de pescado en la dieta de adultos mayores, en los cuales se observó mejor estado emocional y más atención. De igual manera, se ha ex-

plorado la posibilidad de conservar una mejor memoria y otras funciones cerebrales. En algunos casos, se ha reconocido que con el envejecimiento se deteriora la membrana neural, debido, entre otros, a la presencia alta de colesterol, bloqueo de las vías fosfolipídicas y por el estrés oxidativo.

En estudios en cerebros de pacientes fallecidos con Alzheimer se ha observado una alta concentración de colesterol y baja cantidad de ácidos grasos omega-3, tanto en hipocampo, como en los lóbulos frontales, que son las partes del cerebro que dirigen las funciones de decisión y memoria (Castillo *et al.*, 2016). Se puede señalar también que una dieta rica en DHA y EPA (con aceite de pescado) puede mejorar síntomas de depresión (Sinn *et al.*, 2012). Por todo lo anterior, la literatura citada apoya el suplemento dietario con ácidos grasos omega-3 para coadyuvar en los problemas de salud mental de la tercera edad.

### **Sugerencias dietarias para el consumo de ácidos grasos omega-3**

Pueden integrarse a la dieta dos raciones de pescado a la semana (300-500 mg/d de ácidos grasos omega-3) o unos 1000 mg/d en caso de problemas cardiacos que pueden ser aportados por medio de una cápsula blanda de aceite de pescado (Valenzuela y Valenzuela, 2014). No obstante, se recomienda no consumir más de 3000 mg por sus efectos nocivos (más tiempo de coagulación) y aumento de las LDL (lipoproteínas de baja densidad) no benéficas para la salud, así como también se sugiere no tener un alto consumo de hidratos de carbono (sacarosa), ya que puede interferir con el efecto benéfico de los ácidos grasos omega-3 (Castellanos y Rodríguez, 2015). Respecto a el ácido graso omega-6 (contenido en cacahuates y de alto consumo en países de occidente), se recomienda no exceder su ingesta por posibles efectos nocivos para la salud debido a que compite con la enzima desaturasa-6 que participa en el metabolismo del omega-3 (alfa-linolénico/ALA) y con el omega-9 (aceite de oliva), aunque el consumo de los tres se recomienda, pero en forma equilibrada, como se indicó antes (Cuadro 3).

### Cuadro 3. Sugerencias para el consumo de alimentos con omega-3, 6 y 9

<b>Alimentos naturales</b>	Verdolaga, aguacate, aceitunas, nueces, pescados, chía, almendras, cacahuates.
<b>Alimentos procesados</b>	Atún, salmón, huevo enriquecido, aceite de olivo, aceite de soya, aceite de maíz, aceite de cártamo.

Fuente: Modificado de Ganesan *et al.*, 2014; Castellanos y Rodríguez, 2015.

### **Alimentos funcionales *con* o *sin* algún componente nutricional. Adición, disminución o eliminación. Productos *reducidos en grasa* o *calorías***

En la actualidad, en el mercado de alimentos sanos (Vega, 2003) se ofertan los alimentos *sin* (bajos en grasa, sodio, azúcar, calorías o colesterol), identificados en otros países como *light*, ya que han eliminado algunos compuestos que se han asociado con enfermedades, y por ende, se consideran poco saludables. En el caso de los alimentos *con*, constituye la adición de sustancias saludables, como por ejemplo la adición de ácidos grasos omega-3, minerales o vitaminas, antioxidantes y fibra, entre otros (Oliver, 2016).

### **Normas oficiales para reglamentar el consumo de estos productos en México y otros países**

En México se ha publicado la Norma Oficial Mexicana NOM 086 SSA 1-1994 de Bienes y Servicios, Alimentos y Bebidas no Alcohólicas con modificación en su composición, que establece normas para los alimentos *sin*, *bajos* o *reducidos en*, particularmente grasa y calorías.

Por otra parte, en las normas de la Unión Europea sí se incluye la denominación *light, lite o ligero* (Oliver, 2016), y se señala que: a) bajo valor energético considera no más de 40 calorías/100 g de producto sólido o 20 calorías /100 mL de líquido con 4 calorías de edulcorante, que representan sólo 6 g de sacarosa (alrededor de 1 cucharada de azúcar de mesa), b) valor energético reducido implica 30% menos de energía, c) sin aporte energético que considera no más 4 calorías/100 g o mL de producto. Si se agregan edulcorantes, éstos deben representar sólo 0.4 calorías/porción (Moran, 2014).

Agregado a los datos de porciones dietarias antes mencionadas, los productos *reducidos en grasa o calorías* se pueden identificar como: a) "*sin grasa*, es aquel que su contenido de grasa es menor a 0,5g/ porción", b) "*bajo en grasa*, menor o igual a 3 g/porción" y c) "*reducido en grasa*, aquel cuyo contenido de grasa es al menos 25% menor en relación al producto original". En el caso de productos con menor contenido calórico se considera que: a) "*sin calorías*, su contenido debe ser menor de 5 calorías/porción", b) "*bajo en calorías*, su contenido debe ser menor o igual a 40 calorías por porción" y c) "*reducido en calorías*, donde el contenido de calorías debe ser al menos 25% menor en relación a su contenido original" (NOM 086). Sin embargo, estos datos requieren verificarse en la etiqueta del producto que expenden en el mercado, porque puede resultar poco clara, dependiendo de la porción que se considere, si es menor o mayor a 30 gramos. Por ello, el contenido calórico se debe calcular por cada una de estas porciones, así por una porción de 100 gramos, el contenido calórico será mayor al apuntado en la etiqueta, si ésta es de 25 o 30 gramos (Isasa, 2016).

Una advertencia para las personas de la tercera edad con obesidad, diabetes o problemas cardiovasculares, es que si la etiqueta del producto indica bajo o reducido en azúcar tendrá que revisar los otros ingredientes como hidratos de carbono (almidones o harinas refinadas), así como el contenido de sodio o de grasas saturadas (Isasa, 2016) que también se indican en la etiqueta.

Se sugiere un consumo reducido de este tipo de productos para personas de este grupo de población, porque a veces consumen raciones altas del producto, en tanto creen que no le afectará en su salud, sobre todo en el aporte calórico sea por azúcar o grasa (Soederberg y Cassady 2012; Vilaplana, 2008). Como ejemplo puede señalarse el consumo de chocolate, galletas o pasteles *reducidos en calorías*. En el caso del chocolate, se puede agregar que es un producto con alto contenido de grasa y azúcar, sin embargo, los que indican “sin azúcar”, no sólo tienen los hidratos de carbono del cacao, también incluyen leche, avellanas, almendras u otros, lo que implica calorías. Si el producto contiene fructosa, ésta es otra fuente de calorías, igual que si se agregan azúcares alcoholes como xilitol, maltitol, manitol o sorbitol.

Otro aspecto, es el consumir una alta cantidad de este tipo de productos industrializados y olvidar los nutrimentos (vitaminas, minerales, proteínas, ácidos grasos esenciales o hidratos de carbono) que aportan los alimentos naturales de manera equilibrada y que sólo consumir productos procesados podría inducir carencias nutrimentales (Vilaplana, 2008) (Cuadro 4).

#### **Cuadro 4. Sugerencias para el consumo de alimentos con adición o disminución de algún componente nutricio**

Productos lácteos y sus derivados reducidos en grasa, sin lactosa o fortificados con calcio, vitaminas y minerales, cereales y sus derivados con fibra o enriquecidos, huevos con omega-3, jugos adicionados con calcio o fibra.

Fuente: Modificado de Santillán *et al.*, 2014; Köning, 2016.

## Edulcorantes como apoyo para diabetes u obesidad

Los edulcorantes han suscitado interés por su posible papel preventivo para enfermedades metabólicas como obesidad o diabetes. Algunos estudios indican una disminución de la sensibilidad a la insulina, después de una dieta alta en sacarosa; también se sugiere una relación entre el consumo de fructosa (se usa frecuentemente en productos para diabéticos) y jarabe de alta fructosa con el aumento de obesidad, diabetes tipo 2, hipertensión y enfermedades cardiovasculares debido a que causan hiperinsulinemia, hipertrigliceridemia o resistencia a la insulina (Vargas y Cortes, 2015; Raben *et al.*, 2011). Por lo que se ha sugerido la conveniencia de cambiar el uso de estos azúcares con productos alternativos como edulcorantes naturales o artificiales. Su demanda ha aumentado en los últimos 35 años, con amplia presencia comercial (García *et al.*, 2013).

Un edulcorante se caracteriza por aportar dulzor similar al azúcar de mesa (sacarosa), pero con menos o ninguna caloría. Existen diversos tipos de edulcorantes y se clasifican por su valor nutritivo y su origen (Carocho *et al.*, 2017). Los edulcorantes naturales: sacarosa, dextrosa, fructosa, maltosa y lactosa (azúcar de la leche), también se incluye la miel (García *et al.*, 2013).

Dentro de los edulcorantes artificiales, los no calóricos: sacarina, aspartame, acesulfame K, sucralosa, se puede señalar que no propician hambre o aumentan el consumo de alimentos, sin embargo, en estudios con animales se observó que este tipo de edulcorantes pueden incidir en la capacidad del organismo para reconocer un alimento dulce altamente energético y derivar hacia una ingesta excesiva de alimentos con alta densidad calórica, que propicia la obesidad. Aparentemente hay factores dietéticos que pueden alterar los sabores dulces y contribuir al sobrepeso. Lo anterior conduce a la disminución de la capacidad natural para regular el consumo de alimentos y el peso (Gómez-Vásquez, 2017).

Por otra parte, en el momento comercial actual, la sucralosa se utiliza en alimentos y bebidas por su excelente seguridad como compuesto

dietario y alta resistencia al calor, lo cual lo hace útil para el procesamiento industrial o la cocina. El acesulfame K y la estevia también presentan características similares. No obstante, el aspartame es afectado por el calor, por lo que su uso culinario no es frecuente (Carocho *et al.*, 2017).

Entre los edulcorantes calóricos artificiales (proporcionan calorías en cantidades mínimas), están los alcoholes de azúcar como: sorbitol, xilitol, manitol, maltitol, isomaltosa, lactitol y glicerol, cuyo uso es amplio en la chocolatería y en la confitería (Aggarwal *et al.*, 2016). Es importante señalar que estos alcoholes azúcares tienen menos calorías por gramo, porque el organismo no puede metabolizarlos totalmente y tienen un bajo índice glicémico. Sin embargo, se sugiere limitar su ingesta, ya que su consumo en exceso puede provocar diarrea o flatulencia (Wiebe *et al.*, 2011).

Un edulcorante natural sin calorías de amplia oferta comercial y que se usa de manera frecuente, es la estevia. Las hojas de esta planta tienen un dulzor, 15-20 veces mayor que el azúcar de mesa. No obstante, la estevia cruda (polvo o líquido), a partir de hojas de la planta, contiene varios componentes, no sólo los que dan dulzor, por tanto la purificación del edulcorante debe tener alta calidad para evitar la presencia de compuestos no benéficos, además, cuando el producto final está bien purificado no aporta calorías (Durán *et al.*, 2013).

En este marco, también es importante resaltar que en la actualidad el consumo de alimentos procesados modificados en el contenido de azúcar ha afectado el patrón tradicional de alimentación, y los edulcorantes no calóricos han aumentado tanto su demanda como su consumo (Bulman *et al.*, 2018; Vázquez *et al.*, 2017).

La seguridad de los edulcorantes, en el ámbito internacional, es evaluada periódicamente por el Comité Científico de la Unión Europea sobre la Alimentación, y por el Comité Mixto FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios (García *et al.*, 2013). En la Unión Europea, donde se ha elaborado la regulación más importante, se han autorizado edulcorantes como: acesulfame K, aspartame, sacarina, sucralosa, entre otros

de los más conocidos. De igual manera, se han autorizado derivados de la estevia (glucósidos de esteviol). En el caso del aspartame se advierte el riesgo para personas con fenilcetonuria, en tanto el edulcorante en cuestión está elaborado con ácido aspártico y fenilalanina (Carocho *et al.*, 2017).

Cabe indicar que se requieren más estudios sobre el uso de los edulcorantes, sobre todo asociados a problemas de salud (diabetes, obesidad), en tanto, se recomienda su uso con moderación (García *et al.*, 2013) (Cuadro 5).

### **Cuadro 5. Edulcorantes de mayor demanda y consumo**

Sucralosa, estevia, aspartame, xilitol, manitol (chocolates, dulces), lactitol, sorbitol (galletas, confitería).
--

Fuente: Modificado de Carocho *et al.*, 2017.

Después de revisar estas cinco opciones dietarías para las personas de la tercera edad, y las que mayor presencia tienen en la oferta comercial actual, se apuntan algunas ideas a manera de conclusiones.

## **CONCLUSIONES**

En la actualidad, ha aumentado la búsqueda de alimentos saludables, no sólo para la población en general, sino particularmente para la tercera edad.

Como indica Vega (2003), se ha reafirmado y extendido el denominado “mercado para la salud”, en cuyo marco se han estudiado los llamados alimentos funcionales, que se han definido en uno de los apartados de este artículo.

Lo anterior es resultado de dos vertientes en el campo de los alimentos. Una de las cuales ha sido la investigación científica de los componentes de los alimentos, específicamente su valor nutrimental, y se ha podido observar la repercusión del consumo de determinados alimentos en la salud de las poblaciones estudiadas.

A partir de lo anterior, se han logrado reconocer las 5 opciones consideradas en este artículo, y los efectos positivos que causa su consumo, sobre todo de los alimentos funcionales naturales que se incluyen.

En el caso del apartado de fibra, ha sido avalado por el conocimiento científico, el consumo de tortillas, avena, leguminosas, hojas verdes, frutas con cáscara (manzana, guayaba, durazno). Asimismo, en cuanto a los antioxidantes exógenos (consumo dietario), los estudios demuestran el beneficio de consumir frutos rojos, verduras (verdes, amarillas o rojas), cacao, uvas tintas, té verde, entre otros. De igual manera se ha investigado el contenido de ácidos grasos omega-3 en alimentos naturales como verdolagas, chía, pescado, atún, salmón, entre otros.

La otra vertiente de la que hablamos se encuentra en el rubro de alimentos procesados o industrializados por la industria alimentaria, sobre todo en países desarrollados, que han logrado transferir conocimientos para elaborar productos que, por una parte, incidan en el mercado y aumenten las ventas y, por otra, cumplan con las expectativas de salud de los consumidores, sobre todo en su función de nutrir y prevenir algunas enfermedades.

Sin duda, las oportunidades para la industria alimentaria se han diversificado y ampliado en este rubro de los alimentos funcionales, con una extensa oferta. También los centros de investigación continúan o intensifican los estudios científicos, cada vez con mayor rigor en sus resultados para asegurar que el alimento sugerido para su consumo (natural o procesado) cumpla con la función que se le ha adjudicado para apoyar la salud humana.

Finalmente, los edulcorantes son un producto industrializado de alta demanda en este momento, y que han apoyado problemáticas de salud

como diabetes tipo 2 u obesidad en diversos grupos de población, particularmente de la tercera edad. En este punto, cabe alertar que el origen natural de un edulcorante no implica más seguridad o eficacia, en tanto existe una amplia variedad de sustancias con dulzor que podrían participar en el campo de los edulcorantes.

En el caso de la tercera edad, no hay que olvidar que el consumo de un alimento funcional se tiene que acompañar con un estilo de vida saludable (con mayor actividad física), así como, en la medida de lo posible, buscar un equilibrio psicológico y menor cantidad de estrés.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aggarwal, D. *et al.*, 2016, "Formulation of reduced calorie biscuits using artificial sweeteners and fat replacer with dairy-multigrain approach", en *NFS Journal*, 2: 1-7.
- Aiello, A. *et al.*, 2016, "Nutrigerontology: a key for achieving successful ageing and longevity", en *Immunity & Ageing*, 13(1):17.
- Alvarado, A. *et al.*, 2017, "La nutrición en el adulto mayor: una oportunidad para el cuidado de enfermería", en *Enfermería universitaria*, 14(3): 199-206.
- Almaraz, S. *et al.*, 2015, "Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías", en *NutrHosp*, 31(6): 2372-2383.
- Almeida, S. *et al.*, 2014, "La fibra y sus beneficios a la salud", en *Anales Venezolanos de Nutrición*, 21(1): 73-76.
- Baute, R., 2012, *Influencia de los hábitos alimentarios en el estado nutricional del adulto mayor*, Tesis de Licenciatura en Nutrición, Universidad abierta Interamericana, Buenos Aires, Argentina.
- Benzei, I. y S. Choi, 2014, "Antioxidants in food: content, measurement, significance, action, cautions, caveats, and research needs", en *Advances in food and nutrition research*, 71: 1-53, Academic Press

- Bulman, J. *et al.*, 2018, "Ingesta de edulcorantes no nutritivos en tres poblaciones distintas de adultos en México", en *Revista chilena de nutrición*, 45(1): 45-49.
- Cañas, Z. *et al.*, 2011, "Productos vegetales como fuente de fibra dietaria en la industria de alimentos", en *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 64 (1): 6024-6035.
- Carocho, M. *et al.*, 2017, "Sweeteners as food additives in the XXI century: a review of what is known, and what is to come", en *Food and Chemical Toxicology*, 107: 302-317.
- Castellanos, L. y M. Rodríguez, 2015, "El efecto de omega-3 en la salud humana y consideraciones en la ingesta", en *Revista chilena de nutrición*, 42(1): 90-95.
- Castillo, C. *et al.*, 2016, "Efectos del consumo de ácidos grasos omega-3 sobre la salud cardiovascular, cerebral y diversas enfermedades del sistema nervioso central", en *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7(1): 028-051.
- Conti, V. *et al.* 2016, "Antioxidant supplementation in the treatment of aging-associated diseases", en *Frontiers in pharmacology*, 7, (24).
- Coronado, M. *et al.*, 2015, "Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana", en *Revista chilena de nutrición*, 42(2): 206-212.
- Coronado, M. y S. Vega, 2010, *Ácidos grasos omega-3 y omega-6. Biosíntesis, Nutrición y Salud*, UAM-X, México, D. F.
- Curcio, C., 2014. "Envejecimiento exitoso: consideraciones críticas", en *Revista Española de Geriatria y Gerontología*, 28(1): 1955-1977.
- Delgado, L. *et al.*, 2010, "Importancia de los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo", en *Investigación y Ciencia*, 50: 10-15.
- D'Hyver, C., 2014, "Proceso de envejecimiento", en D'Hyver, C. y L. Gutiérrez, *Geriatría, El Manual Moderno*, México.
- Dreher, M., 2018, "Fiber-Rich Dietary Patterns and Colonic Microbiota in Aging and Disease", en *Dietary Patterns and Whole Plant Foods in Aging and Disease*, Humana Press.

- Durán, S. *et al.*, 2013, "Edulcorantes no nutritivos, riesgos, apetito y ganancia de peso", en *Revista Chilena de Nutrición*, 40(3): 309-314.
- Elleuch, M. *et al.*, 2011, "Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: characterisation, technological functionality and commercial applications: A review", en *Food Chemistry* 124: 411-421.
- Fuller, S. *et al.*, 2016, "New horizons for the study of dietary fiber and health: a review", en *Plant foods for human nutrition*, 71(1): 1-12.
- García, J. *et al.*, 2013, "Una visión global y actual de los edulcorantes: aspectos de regulación", en *Nutrición Hospitalaria*, 28 (Supl. 4): 17-31.
- González, F. *et al.*, 2015, "Empleo de antioxidantes en el tratamiento de diversas enfermedades crónico-degenerativas. Vertientes", en *Revista Especializada en Ciencias de la Salud*, 18(1).
- Gómez, H., 2017, "La paradoja de los endulzantes sin calorías", en *Medicina Interna de México*, 33(2): 204-208.
- Harman, D., 1956, "Aging: A theory based on free radical and radiation chemistry", en *Journal of Gerontology*, 11(3): 298-300.
- Hazen, R., 2014, "Nutrición estratégica para una vejez saludable", en *Strategic nutrition for healthy aging technical paper*, DSM.
- Ibero, I. *et al.*, 2017, "Guías para el consumo de chocolate negro. ¿Placer y salud cognitiva?", en *Nutrición Hospitalaria*, 34(4): 759-760.
- Isasa, T., 2016, "Alimentos funcionales y obesidad. Interés y realidad", en *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, 82.
- Kate, E. *et al.*, 2017, "Good Mood Food", en *J Nutr Health Food Eng*, 7(4): 00246.
- Köning, J., 2016, "Functional Foods", en *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*.
- Llancari, A. y A. Matos, 2011, Valoración de los nutrientes y antioxidantes en la salud humana e industria alimentaria, en I Congreso Nacional de Investigación, Universidad Peruana Unión Perú, Lima, 2-4 noviembre, 2011.
- Maddox, G., 1963, "Activity and morale: A longitudinal study of selected elderly subjects", en *Social forces*, 42(2): 195-204.

- Mañan, S., 2013, *Consumo de alimentos naturales con capacidad antioxidantes en adultos mayores*, Tesis de Licenciada en Nutrición, Universidad Abierta Interamericana, Buenos Aires.
- Martirosyan, M. y J. Singh, 2015, "A new definition of functional food by FFC: what makes a new definition unique?" en *Functional foods in health and disease*, 5(6): 209-223.
- Miranda, M., 2010, *La fibra dietaría en nutrición*, UAEMEX, México.
- Morán, J. y M. Hernández, 2014, "Perfiles nutricionales y dieta", en *Dieta Mediterránea: Avances en alimentación, nutrición y dietética*, Punto didot, España.
- Moreno, T., 2016, "Teorías actuales de envejecimiento", en *ARS MÉDICA*, Revista de Ciencias Médicas, 32(2): 33-38.
- Mouret, H., 2015, "Aceite de pescado omega-3 y pérdida muscular por el envejecimiento", en *Fitness*, 1-6.
- Navarro, I. et al., 2017, "Estimación de la capacidad antioxidante de los alimentos ingeridos por la población española", en *Revista chilena de nutrición*, 44(2): 183-188.
- Nilsson, A. et al., 2012, "Effects of supplementation with n-3 polyunsaturated fatty acids on cognitive performance and cardiometabolic risk markers in healthy 51 to 72 years old subjects: a randomized controlled cross-over study", en *Nutrition Journal*, 11: 1-9.
- Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. *Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales*, en Diario Oficial de la Federación (10-24-94).
- Obrenovich, M. et al., 2011, "Antioxidants in health, disease and aging", en *CNS and neurological disorders - Drug Targets*, 10: 192-207.
- Oliver, P., 2016, "La evidencia científica en la información al consumidor: las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables (Healthclaims) en los alimentos", en *Scientific evidence in consumer information: nutrition and Healthclaims on food*, revista Española de Comunicación en Salud (RECS), 31-42.

- Ortiz, G. *et al.*, 2012, "Envejecimiento y metabolismo: cambios y regulación", en *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 62(3): 249-257.
- Pérez, A. *et al.*, 2018, "Long chain n-3 PUFA supplied by the usual diet decrease plasma stearyl-CoA desaturase index in non-hypertriglyceridemic older adults at high vascular risk", en *Clinical Nutrition*, 37(1): 157-162.
- Prados, A. *et al.*, 2015, "El papel de los ácidos grasos omgea-3 en las diferentes etapas de la vida en población sana", en *El Farmacéutico*, 521: 14-22.
- Raben, A. *et al.*, 2011, "Increased postprandial glycaemia, insulinemia, and lipidemia after 10 weeks sucrose-rich diet compared to an artificially sweetened diet: a randomised controlled trial", en *Food and Nutrition Research*, 55: 1-13.
- Reyes, A. *et al.*, 2011, "Antioxidantes: la magia de lo natural", en *Revista Académica de Investigación Tlatemoani*, 8: 1-16.
- Rodríguez, T. *et al.*, 2015, "Estrés oxidativo: genética, dieta y desarrollo de enfermedades", en *Correo Científico Médico*, 19(4): 690-705.
- Romero, A. y L. Amores, 2016, "El envejecimiento oxidativo inflamatorio: una nueva teoría con implicaciones prácticas", en *MediSur*, 14(5): 591-599.
- Rubio, D. *et al.*, 2015, "Calidad de vida en el adulto mayor", en *VARONA*, (61).
- Sánchez, A., 2016, Evidencias científicas sobre el manejo de omega-3, en Jornadas de la sociedad española de Farmacia Comunitaria, SE-FAC, 2015, Sevilla, España.
- Santillán, E. *et al.*, 2014, "Productos lácteos funcionales, fortificados y sus beneficios en la salud humana", en *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 8(1).
- Seo, J. *et al.*, 2016, "Development of low-sugar antioxidant jam by a combination of anthocyanin-rich berries", en *Applied Biological Chemistry*, 59(2): 305-312.

- Sinn, N. *et al.*, 2012, "Effects of n-3 fatty acids, EPA v. DHA, on depressive symptoms, quality of life, memory and executive function in older adults with mild cognitive impairment: a 6-month randomised controlled trial", en *British Journal of Nutrition*, 107: 1682-1693.
- Soederberg, L. y D. Cassady, 2012, "Making healthy food choices using nutrition facts panels", en *The roles of knowledge, motivation, dietary modification goals, and age. Appetite*, 59(1): 129-139.
- Urquiaga, I. *et al.*, 2017, "Origen, componentes y posibles mecanismos de acción de la dieta mediterránea", en *Revista médica de Chile*, 145(1): 85-95.
- Valenzuela, A. y R. Valenzuela, 2014, "Ácidos grasos omega-3 en la nutrición ¿Cómo aportarlos?", en *Revista chilena de nutrición*, 41(2): 205-211.
- Vargas, L. y J. Cortes, 2015, "Jarabe de maíz alto en fructosa, una revisión sobre su metabolismo y efectos de un consumo excesivo", en *Gaceta Hidalguense de Investigación en Salud*, (9).
- Vázquez, M. *et al.*, 2017, "Consumo actual de edulcorantes naturales (beneficios y problemática): Stevia", en *Revista Médica Electrónica*, 39(5): 1153-1159.
- Vega, S., 2003, "Innovaciones tecnológicas alimentarias al inicio del siglo XXI. El caso de los llamados alimentos funcionales", en Coronado, M. (Comp.), *La innovación tecnológica en el futuro de los profesionales en áreas biológicas. Un texto para estudiantes universitarios*, Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco, Universidad Autónoma del Estado de Morelos y *Revista Mexicana de Pedagogía*, México, D.F.
- Vilaplana, M., 2008, "Alimentos light y dietas milagro", en *OFFARM*, 27(4): 88-93.
- Wiebe, N. *et al.*, 2011, "A systematic review on the effect of sweeteners on glycemic response and clinically relevant outcomes", en *BMC Medicine*, 9(123): 1-18.

# Propuesta para establecer un acuerdo nacional para la calidad, cuidado y uso del agua en la ganadería mexicana

J. Ángel Gómez Reyes,<sup>1</sup> María Jesús Ferrara Guerrero,<sup>2</sup> Jesús A. Guevara,<sup>1</sup>  
Yasmin G. De Loera Ortega,<sup>3</sup> José Roberto Angeles Vázquez<sup>2</sup>  
y Adelfa del Carmen García Contreras<sup>1</sup>

**Resumen.** *El agua utilizada en la ganadería mexicana proviene de tres fuentes principales: de la red hidráulica municipal, de fuentes profundas (pozos), y superficiales (ríos, lagunas y lagos), las cuales tienen una calidad variable, poniendo en riesgo la salud y producción de los animales, al igual que el de las personas. Por ello la Ley Federal de Salud Animal, a través del establecimiento de las Buenas Prácticas de Producción, establecen que el agua suministrada a los animales y utilizada en las actividades ganaderas sea analizada bajo la norma NOM-127-SSA1-1994, la cual fue publicada para regular la calidad del agua que consumen los humanos, resultando difícil de cumplir a cabalidad por la industria pecuaria. Por lo tanto, en este documento se establecen los parámetros químicos, físicos y microbiológicos necesarios para asegurar que la ganadería tenga una calidad de*

<sup>1</sup> Laboratorio de Imagenología Zootécnica, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, e-mail: adelfa@correo.xoc.uam.mx.

<sup>2</sup> Laboratorio Ecología Microbiana, Departamento El Hombre y su Ambiente, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco..

<sup>3</sup> Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Estado de México.

*agua de consumo y de primer contacto que no afecte la salud y producción de los animales, incluyendo la de los operarios.*

**Palabras clave:** *acuerdo nacional, ganadería, agua para consumo, agua de contacto primario, calidad del agua.*

**Abstract.** *Water used in Mexican livestock comes from three main sources, municipal water network, surface water (rivers, ponds and lakes) and groundwater (wells), which have a variable quality, which puts the health and production of animals at risk, as well as that of people. Therefore the Federal Law on Animal Health, through the establishment of good production practices, provide that the water supplied to animals and used in livestock activities, be analyzed under the NOM-127-SSA1-1994, the which was published to regulate the quality of water consumed by humans, being difficult to fully comply with the livestock industry. In this document the chemical, physical and microbiological parameters required are established to ensure that livestock have quality drinking water and first contact that does not affect health and animal production, including operators.*

**Keywords:** *national agreement, animal production, drinking water, primary contact water, water quality.*

## INTRODUCCIÓN

La concentración de animales en espacios limitados, en regiones donde el agua existía en abundancia, fue la motivación para que se asentaran los núcleos ganaderos en algunas zonas de la República Mexicana, lo que permitió el desarrollo de la producción animal, sin embargo, también generó altos grados de condensación de unidades ganaderas, lo que implicó una carga de desechos que de forma natural no ha sido fácil controlar. En consecuencia, la contaminación de los mantos freáticos superficiales y profundos ha ido aumentando, debido al incremento de las infiltra-

ciones al subsuelo de nutrientes generados por los sistemas ganaderos, sobre todo por las actividades relacionadas con producción de desechos industriales y domésticos (Calvet, 2015; Gerber *et al.*, 2013).

La tendencia actual, de acuerdo a los cambios de percepción e interés de los núcleos poblacionales con respecto al bienestar animal, el medio ambiente y el incremento en la demanda de alimentos con mejores procesos de inocuidad, certificación y producciones más sostenibles, ha generado mayor interés en la situación hídrica del país, lo cual ha permitido el desarrollo de más investigaciones y mayor vigilancia en los procesos de calidad del agua, su uso y cuidado, tanto en zonas urbanas, como en las industriales y ganaderas, tratando con ello de mitigar o eliminar aquellos factores que ponen en riesgo la cantidad y calidad del agua útil para los ecosistemas y sistemas de producción.

En el ámbito de la ganadería, el agua es reconocida como el nutriente más importante, ya que es necesaria para todos los procesos, incluida la regulación de la temperatura corporal a través de la hidratación adecuada, reproducción, lactancia, digestión y eliminación de materiales de desecho. Si la calidad o cantidad del agua es limitada, el bienestar de los animales puede verse comprometido, provocando una disminución del consumo de materia seca esperada y la productividad general del ganado (Petersen *et al.*, 2015).

El concepto de calidad del agua es un término amplio que incluye carga bacteriana y otros microorganismos, sabor, olor, turbidez, minerales, salinidad, compuestos orgánicos y otros contaminantes naturales o químicos (Carson, 2000). Dicha calidad está acotada por la NOM-127-SSA1-1994, establecida para el consumo humano, misma que en la actualidad ha sido impuesta para normar el agua de consumo de los animales. Por ello, se dice que el sector pecuario está desprovisto de normas o reglamentos que definan y establezcan la calidad del agua que debe ser suministrada y utilizada en las unidades de producción animal. La Ley Federal de Salud Animal, en su Artículo 21 del Título tercero (Del bienestar de los animales), establece que “los propietarios o poseedores de

animales domésticos o silvestres en cautiverio, deberán proporcionarles alimento y agua en cantidad y calidad adecuada de acuerdo a su especie y etapa productiva”, sin embargo, esta Ley no define hasta donde los parámetros de calidad del agua, que describe la NOM-127-SSA1-1994, deben ser exigidos en cada una de las unidades de producción pecuaria.

Lo anterior se agudiza al observar que en los Manuales de Buenas Prácticas (MBP) de Producción (Senasica, 2018) se utiliza la NOM-127-SSA1-1994 como elemento fundamental de evaluación para obtener la certificación en Buenas Prácticas de Producción y los beneficios que de ella emanan. Esta norma, al ser aplicada por el sector ganadero, coloca en grandes dificultades al sector, ya que ponen en riesgo que se cumplan a cabalidad los requisitos expuestos en dichos Manuales.

En este contexto, la industria ganadera de mediana y baja escala no pueden cumplir con los indicadores que se exigen para otorgarles el certificado de BPP. Asunto más grave aún, es el caso de las granjas que han obtenido el certificado y no han logrado acreditar en 100% los análisis que marca la NOM-127-SSA1-1994, lo que pone en duda si realmente se realiza de forma adecuada la evaluación de las BPP.

Datos publicados por Carlón *et al.* (2016) sobre la calidad del agua, mostraron que aquellas que provenían de la red hidráulica municipal y que eran utilizadas en las granjas porcícolas tenían una calidad aceptable, de acuerdo a los parámetros marcados por la NOM-127-SSA1-1994. No obstante, aquellas que fueron obtenidas de granjas porcinas y avícolas que contaban con pozos particulares o comunitarios, tenían una calidad no recomendable para el consumo. Si se consideran los datos aportados por éstos, es pertinente que se analice el agua utilizada en las granjas, y en particular aquellas en las que el agua no es potable, así como aquellas aledañas a núcleos agrícolas o industriales que pueden contaminar estas fuentes hídricas con metales y sobrecargas de nutrientes (Boixadera y Cortés, 2000).

Otras fuentes de agua utilizadas en la industria ganadera son las fuentes superficiales como ríos, lagunas y lagos, así como profundas

(pozos), todas ellas con diferentes situaciones de calidad y cantidad para ser utilizadas en la ganadería; son justamente éstas las que habría que analizar, ya que, en función de la localización y época del año, pueden presentar variaciones significativas que induzcan a cambios o riesgos para los animales y seres humanos que utilizan o consumen esas aguas (Lucas y Livesay, 2017).

No obstante, la importancia de evaluar la calidad del agua, existen también limitantes para realizar esta evaluación, como el costo de los análisis, el número de laboratorios y su localización geográfica, la rapidez con la que se puede obtener la información, y la validez de estos análisis para las entidades oficiales que las solicitan. Asimismo, no se debe omitir que son análisis especializados, por lo que se requiere de la capacitación del personal, el material indicado, y la forma y tiempo de envío de las muestras hace que los resultados de los análisis sean o no válidos.

Con lo anterior, se muestra que no se puede utilizar una norma tan compleja como la NOM-127-SSA-1994 para definir si la ganadería utiliza agua de calidad, como lo establece la Ley Federal de Salud Animal y, lo único que se ha ocasionado con ello es que se incumpla con la normatividad y se incurra en omisiones que al final no contribuyen en aumentar la certeza de que con el uso del agua no se daña los procesos productivos animales y la salud de los mismos.

Por tal razón, el presente documento tiene como objetivo hacer una propuesta para establecer los principales parámetros a evaluar, y con ello determinar la calidad del agua utilizada en el sector pecuario, con la finalidad de establecer un acuerdo nacional para la calidad, cuidado y uso del agua en la ganadería mexicana.

## **Parámetros de calidad del agua para consumo animal**

Al momento de realizar un análisis para establecer la calidad del agua, se debe tener en cuenta la información sobre el origen de las fuentes

(superficial o subterránea), ya que el tipo de fuente influye en la calidad del agua suministrada; por ejemplo, los pozos profundos tienden a producir agua con un mayor contenido mineral, mientras que el agua de los pozos menos profundos y las fuentes superficiales es más probable que contengan niveles más altos de nitratos y bacterias coliformes (Carson, 2000; Socha *et al.*, 2003).

Un gran número de autores (Farries *et al.*, 1998; Carson, 2000; Hooda *et al.*, 2000; Socha *et al.*, 2003; Wright, 2007; Higgins *et al.*, 2008; Raisbeck *et al.*, 2008; Olkowski, 2009; Linn y Raeth-Knight, 2010; Morgan, 2011; Meehan *et al.*, 2015) coinciden en que la evaluación básica de la calidad del agua, para el ganado, debe incluir la medición de sólidos disueltos totales (SDT), sulfatos, nitritos, nitratos, sodio, bacterias coliformes y algas verde-azules. Mientras que, las pruebas complementarias comprenden la medición de la conductividad eléctrica (CE), pH, dureza (magnesio, calcio), hierro, cloruros, potasio, manganeso y contaminantes específicos de la situación y/o la región geográfica.

Algunos elementos que se pueden encontrar en el agua rara vez representan un riesgo de intoxicación para los animales, ya que se acumulan en niveles insignificantes en forma soluble, o porque son tóxicos sólo en concentraciones excesivas, por ejemplo, el hierro, aluminio, berilio, boro, cromo, cobalto, cobre, yoduro, manganeso, molibdeno y zinc, los cuales no representan un riesgo mayor, excepto en condiciones inusuales. En cambio, el arsénico, cadmio, flúor, plomo, mercurio y el selenio pueden contaminar el agua y representar un peligro potencial para el ganado, cuando están presentes en niveles tóxicos, por lo que la evaluación de estos elementos en el agua debe realizarse de forma individualizada (Carson, 2000).

En el Cuadro 1 y 2 se presentan las propuestas para el acuerdo nacional sobre los límites recomendados para determinar la calidad, cuidado y uso del agua en la ganadería mexicana. Estos parámetros están definidos por recomendaciones, a nivel internacional, que algunos países utilizan para el control del agua de consumo en las unidades ganaderas.

### Cuadro 1. Límites recomendados para determinar la calidad del agua en la ganadería mexicana

Elemento / unidad de medida		Propuesta
Evaluación básica		
Características organolépticas	Olor	Inodoro*
	Sabor	Inspido*
	Color	20**
	Turbiedad, UTN <sup>1</sup>	5
Características fisicoquímicas	SDT <sup>2</sup> , ppm	1000-3000
	Sulfatos, ppm	150-400
	Nitratos, ppm	10-100
	Nitritos, ppm	0.05-33
	Sodio, ppm	50-200
Características microbiológicas	Coliformes totales / 100 mL	2
	Coliformes fecales /100 mL	0
	Algas verdeazules (cianobacterias)	Ausentes***
Análisis suplementarios		
CE <sup>3</sup> , dS/m		< 1.5
pH		6.5-8.5
Dureza (CaCO <sub>3</sub> ), ppm		500
Arsénico, ppm		0.05-0.2
Cadmio, ppm		0.003-0.005
Flúor, ppm		1.5-2
Plomo, ppm		1.5-2
Mercurio, ppm		0.001-0.003
Selenio, ppm		0.01-0.05
Calcio, ppm		100-200
Magnesio, ppm		50-100

<sup>1</sup>Unidades de turbiedad nefelométricas; <sup>2</sup>Sólidos disueltos totales; <sup>3</sup>Conductividad eléctrica.

\*Se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico;

\*\*Unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto; \*\*\*Principalmente en épocas calurosas y zonas áridas.

Fuentes: NOM-127-SSA1-1994; National Academy of Sciences, 1972; United States Environmental Protection Agency, 1973; CCME Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses, 2005; Socha *et al.*, 2003; Normas FEDNA, 2013.

**Cuadro 2. Límites recomendables de compuestos adicionales para el control de la calidad del agua.**

Elemento (ppm)	Propuesta
Aluminio	0.20-1
Bario	0.70-1
Berilio	0.1
Bicarbonato	1000
Boro	5-30
Cloruro	100-250
Cromo	0.05-1
Cobalto	1
Cobre	0.5-5
Hierro	0.2-0.4
Manganeso	0.05-0.15
Molibdeno	0.03-0.5
Níquel	0.25-1
Fosforo	0.7
Potasio	20
Plata	0.05
Vanadio	0.01-0.1
Zinc	5-25

Fuentes: NOM-127-SSA1-1994; National Academy of Sciences, 1972; United States Environmental Protection Agency, 1973; CCME Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Agricultural Water Uses, 2005; Socha *et al.*, 2003; Normas FEDNA, 2013.

## Calidad del agua de contacto primario

El agua de contacto primario se refiere a la utilizada por los seres humanos en las actividades diarias dentro de los centros de trabajo, es decir, están en contacto directo con ella, representando un riesgo para su salud y bienestar físico, en el caso de que el líquido presente algún tipo de contaminación.

La calidad del agua de contacto primario se refiere a las condiciones en que debe encontrarse el agua respecto a sus características físicas, químicas y biológicas (OMS, 2006). Se considera que el agua es de buena calidad cuando está exenta de sustancias que transmitan efectos sensoriales desagradables a través del color, olor, sabor, sólidos en suspensión o turbidez. Para considerar la calidad del agua no se deben aceptar películas visibles de grasas y aceites flotantes, presencia de material flotante proveniente de actividades pecuarias o humanas, sustancias tóxicas o irritantes, cuya acción por contacto, ingestión o inhalación, produzcan reacciones adversas sobre la salud humana (NMX-AA-120-SCFI-2016). La recomendación de calidad del agua de contacto primario también debe evitar que existan entidades microbiológicas (bacterias, virus, parásitos, levaduras) que puedan causar irritación en piel, ojos y/o mucosas (OMS, 2018).

En el Cuadro 3 se señalan las características de calidad que podrían ser analizadas en las granjas, particularmente en áreas como regaderas, baños, cocina, grifos para agua de limpieza y desinfección de instalaciones, así como para la limpieza de instrumentos, material y equipos.

### Cuadro 3. Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos, para agua de contacto primario

Elemento / unidad de medida	Propuesta
Olor	Inodoro*
Sabor	Insípido*
Color	20**
Turbiedad, UTN <sup>1</sup>	5
pH	6.5 – 8.5
Cloro residual libre, ppm	1-5
Ácido cianúrico, ppm	100
Coliformes Fecales, NMP/100 mL	<40
Materia flotante	Ausente

<sup>1</sup>Unidades de turbiedad nefelométricas.

\*Se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico;

\*\*Unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.

Fuente: Adaptado de NOM-245-SSA1-2010, Requisitos sanitarios y calidad del agua que de deben cumplir las albercas.

## CONCLUSIONES

Ante el panorama de constante crecimiento del sector ganadero en México, aunado al deterioro de los recursos hídricos, consecuencia de la explotación desmedida de los recursos naturales y la mala gestión de los residuos generados por la ganadería y otros sectores económicos del país, surge la necesidad y preocupación de establecer reglamentos alcanzables para regular la calidad, cuidado y uso del agua empleada en la ganadería mexicana y, con ello, garantizar la productividad del gana-

do, así como la salud y el bienestar físico de los mismos, pero también de las personas vinculadas directamente con el sector. Es por ello, que se requiere establecer indicadores asequibles que permitan realizar la apropiada determinación de la calidad e inocuidad del agua en las unidades de producción ganadera, y al mismo tiempo, que sean factibles de cuantificar en todos los sectores de la sociedad relacionados con la ganadería. De ahí, la importancia de establecer, de manera consensuada por las áreas que integran el sector ganadero de México, un acuerdo nacional para instaurar la calidad, cuidado, uso, y en su caso, la recuperación del agua que pueda ser inocua y de calidad para su utilización en la ganadería mexicana.

## BIBLIOGRAFÍA

- Boixadera, J. y A. Cortés, 2000, "Nitratos, agua y agricultura, un problema moderno de utilización del suelo", en *Horticultura*, 143: 44-46.
- Calvet, S., 2015, Contaminación atmosférica. Mitigación y adaptación a través de la nutrición animal", en *NutriNew*, Revista electrónica, en <https://nutricionanimal.info/contaminacion-atmosferica-mitigacion-y-adaptacion-a-traves-de-la-nutricion-animal>.
- Carlón, M. *et al.*, 2016, "Calidad del agua de abastecimiento en granjas porcinas", Memorias del X Congreso Nacional AMVEC, en [http://www.amvec.com/amvec/memorias/2016/2016\\_121.pdf](http://www.amvec.com/amvec/memorias/2016/2016_121.pdf), consultado el 30/08/2018.
- Carson, L., 2000, "Current knowledge of water quality and safety for livestock", en *Veterinary clinics of north america: food animal practice*, 16(3): 455-464.
- Faries, F. *et al.*, 1998, "Water quality: Its relationship to livestock", en *Agri-Life Extension*, L-2374.
- FEDNA, 2013, *Necesidades nutricionales para ganado porcino*, Federación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal, 2a edición, España.

- Gerber, P. *et al.*, 2013, *Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Roma.
- Higgins, S. *et al.*, 2008, *Drinking Water Quality Guidelines for Cattle. Cooperative Extension Work*, University of Kentucky College of Agriculture, Lexington, and Kentucky State University, Frankfort, ID-170.
- Hooda, S. *et al.*, 2000, "A review of water quality concerns in livestock farming areas", en *The Science of the Total Environment*, 250:143-167.
- Linn, J., M. Raeth-Knight, 2010, *Water Quality and Quantity for Dairy Cattle*, Department of Animal Science, University of Minnesota.
- Lucas, C. y M. Livesay, 2017, *Keeping Your Well Water Well*, Oregon State University Extension Service, Issue EM 8752.
- Meehan, M. *et al.*, 2015, *Livestock Water Quality*, County Commissions, NDSU and U.S., Department of Agriculture Cooperating.
- Morgan, S., 2011, "Water Quality for Cattle", en *Vet Clin Food Anim* 27: 85–295.
- NMX-AA-120-SCFI-2016, Que establece los requisitos y especificaciones de sustentabilidad de calidad de playas, en <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/213866/NMX-AA-120-SCFI-2016.pdf> Consultado el 03/09/2018.
- NOM-245-SSA1-2010, Requisitos sanitarios con que deben cumplir las albercas, en [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5256066&fecha=25/06/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5256066&fecha=25/06/2012) Consultado el: 03/09/2018.
- Olkowski, A., 2009, *Livestock Water Quality. A Field Guide for Cattle, Horses, Poultry, and Swine*, 1a ed., Minister of Agriculture and Agri-Food Canada, ISBN 978-1-100-12443-8.
- OMS, 2018, *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda [Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating first addendum]*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- OMS, 2006, *Guidelines for safe recreational water environments. Volume 2, Swimming pools and similar environments*, Organización Mundial de la Salud, Ginebra, Suiza, ISBN 92 4 154680 8.

- Petersen, K. *et al.*, 2015, "Sources of variability in livestock water quality over 5 years in the Northern Great Plains", en *Journal of Animal Science*, 93(4): 1792-1801.
- Raisbeck, F. *et al.*, 2008, "Water Quality for Wyoming Livestock & Wildlife A Review of the Literature Pertaining to Health Effects of Inorganic Contaminants", en *University of Wyoming Agricultural Station Bulletin*, 1183.
- Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica), 2018, *Manuales de Buenas Prácticas*, en <http://publico.senasica.gob.mx/?doc=21454>, consultado el 30/08/2018.
- Socha, M. *et al.*, 2003, *Variability of Water Composition and Potential Impact On Animal Performance*, Zinpro Corporation.
- Wright, L., 2007, "Management of Water Quality for Beef Cattle", en *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 23: 91-103.



# Naturaleza y acciones de los plaguicidas organofosforados sobre el ambiente y la salud

Guadalupe Prado Flores,<sup>1</sup> Javier Olivares Orozco,<sup>2</sup>  
Fidel Payán Zelaya<sup>3</sup> y Georgina Alarcón Ángeles<sup>4</sup>

**Resumen.** *Las acciones de los plaguicidas organofosforados y sus efectos sobre la salud y el medio ambiente derivan de su naturaleza química y sus funciones. De ellas se coligen los daños que manifiestan en los organismos vivos y la contaminación de los recursos abióticos. En el presente trabajo se presentan las estructuras de compuestos frecuentes, agentes fisicoquímicos que inducen alguna actividad tóxica, mecanismos básicos de acción y farmacocinética. Igualmente se analizan tanto relaciones entre la naturaleza de algunos compuestos, su toxicidad y los efectos sobre la salud, como metodologías relevantes de cuantificación con sus características analíticas.*

**Palabras clave:** *plaguicidas organofosforados, naturaleza, toxicidad, salud.*

<sup>1</sup> Profesor-Investigador, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, e-mail: gprado@correo.xoc.uam.mx

<sup>2</sup> Profesor-Investigador, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, e-mail: olivares@correo.xoc.uam.mx

<sup>3</sup> Profesor-Investigador, Departamento de Producción Agrícola y Animal, Universidad Autónoma Metropolitana, e-mail: fpayan@correo.xoc.uam.mx

<sup>4</sup> Profesor-Investigador, Departamento de Sistemas Biológicos, Universidad Autónoma Metropolitana, e-mail: galarcon@correo.xoc.uam.mx

**Abstract.** *Toxic action of pesticides on health and the environment derives from their nature and functions, from which the damages to living organisms and abiotic resources are collated. We present structures of several compounds, physicochemical agents that induce some toxic activity, mechanisms of action and pharmacokinetics. The relationships between nature, toxicity, management and health are analyzed. Also, relevant quantification methodologies and its analytical properties are shown.*

**Keywords:** *Organophosphate pesticides, chemical structure, toxicity, health.*

## INTRODUCCIÓN

La importancia ambiental y sanitaria de los plaguicidas organofosforados (POF) en México deriva principalmente de aplicaciones como insecticidas, fungicidas y herbicidas para controlar plagas de insectos, hongos y malezas en cereales, frutales, leguminosas, pastos, hortalizas, oleaginosas, y cultivos de importancia comercial como algodón, tabaco y café. Los beneficios en los rendimientos de cosechas son reales, no obstante, se han registrado efectos contaminantes sobre el ambiente que tienen directa influencia sobre la salud. El Cuadro 1 muestra la cobertura del empleo preferente de los POF y el dinamismo productivo de las zonas geográficas donde se cultivan estos productos.

## Aspectos teóricos de los plaguicidas organofosforados

Los POF son ésteres, amidas o tioles derivados de los ácidos fosfórico, tiofosfórico, ditiofosfórico, fosfónico o fosfénico. Entre ellos destacan los fosfatos, O-fosforotioatos o tionatos, fosforoamidatos, S-fosforotioatos o tiolatos, fosfonatos y los fosforoditioatos o tiolotionatos. Las estructuras que poseen uniones P=O son llamados oxones; por ejemplo, el glifosato

y el diclorvos. Los que tienen enlaces P=S son tiones, entre los que se encuentran el malatión, paratión, diazinón y clorpirifos. En sus estructuras se distinguen grupos alquilo y anillos aromáticos o nitrogenados. En el cuadro 1 se presentan seis ejemplos de ellos.

Las acciones biológicas de los POF son consecuencia de sus propiedades fisicoquímicas. Resaltan la persistencia, la bioacumulación, la biomagnificación y la toxicidad. Según Semarnat (2013) la persistencia es la capacidad de una sustancia para permanecer en el ambiente después de su liberación, manteniendo sus características de toxicidad. La bioacumulación es el proceso de depósito gradual de una sustancia en tejidos vegetales o animales que no pueden ser excretados porque los organismos no tienen la capacidad de metabolizarlos. La biomagnificación se refiere al transporte natural de las sustancias a través de las cadenas tróficas, donde los eslabones superiores las contienen en mayor cantidad. La toxicidad los hace responsables directos de efectos graves sobre la salud y el ambiente (Semarnat, 2013; Ko *et al.*, 2018).

**Cuadro 1. Plaguicidas organofosforados aplicados en zonas de alta actividad agrícola en México**

Sitio	POF aplicados	Cultivos	Referencia
Sinaloa	Clorpirifos, Dimetoato, Malatión, Monocrotofos, Paratión metílico, Glifosato Paratión, Disulfotón, Famfur, Tianazín, Diazinón, Diclorvos.	Maíz, Sorgo, Jitomate, Papa, Frijol, Sandía, Mango, Pepino, Cártamo.	Leyva <i>et al.</i> , 2017
Sonora (Valle del Yaqui)	Dimetoato, Clorpirifos, Dioxatión, Metamidofos, Paratión metílico	Maíz, Garbanzo, Cártamo, Cítricos, Algodón.	García <i>et al.</i> , 2017
Bajío de Guanajuato	Omeotato, Dimetoato, Clorpirifos, Diclorvos, Glifosato, Malatión, Paratión metílico.	Maíz, Trigo, Sorgo, Cebada.	Pérez <i>et al.</i> , 2017
Edo. de México	Monocrotofos, Profenofos, Omeotato, Paratión metílico, Diazinón, Malatión, Dochlorvos, Clorpirifos etilo.	Flores, Hortalizas, Frutos.	Castillo <i>et al.</i> , 2017
Chiapas	Glifosato, Monocrotofos, Paratión metílico.	Maíz, Flores.	Gómez, 2017; Rendón von O. 2017
Campeche	Glifosato, Clorpirifos, Diazinón, Malatión, Metamidorfos, Omeotato, Paratión Metílico	Maíz, Arroz, Sorgo, Caña de azúcar, Soya Frijol, Soya, Chile, Calabaza, Sandía, Mango, Naranja, Limón.	Gómez, 2017; Hernández <i>et al.</i> , 2017
Yucatán	Clorpirifos, Glifosato, Metamidorfos, Clorpirifos.	Tomate, Chile, Pimiento, Soya, Maíz, Sorgo, Pepino.	Gómez, 2017; Hernández <i>et al.</i> , 2017

## Acciones de los POF

Los plaguicidas manifiestan las siguientes características: i) estabilidad estructural que se relaciona con su vida media y, por tanto, es la base de su persistencia (clorpirifos: 4 a 7 días (d); diclorvos: 5 a 8 d; malatión y paratión: 7 d y diazinón 90 d; el paratión se acumula en forma de paraoxón y tiene alta persistencia) (Rothleim *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2016); ii) presión de vapor y volatilidad, las cuales son una de las causas de su dispersión, como de la consecuente bioacumulación y biomagnificación; iii) liposolubilidad de sus ejemplares, que permite atravesar membranas lipídicas, modificar la permeabilidad, acumularse en tejidos y secreciones ricos en grasas, así como menor excreción por las vías urinarias; iv) degradación por hidrólisis alcalina o por oxidación con lo que se generan compuestos de difícil eliminación y se acumulan con daños a la salud (Farner *et al.*, 2017).

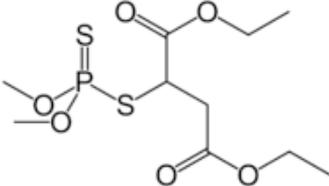
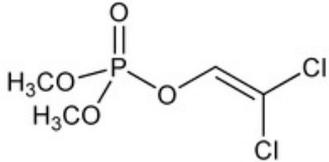
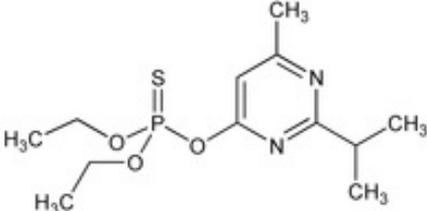
## Destino Ambiental de los POF

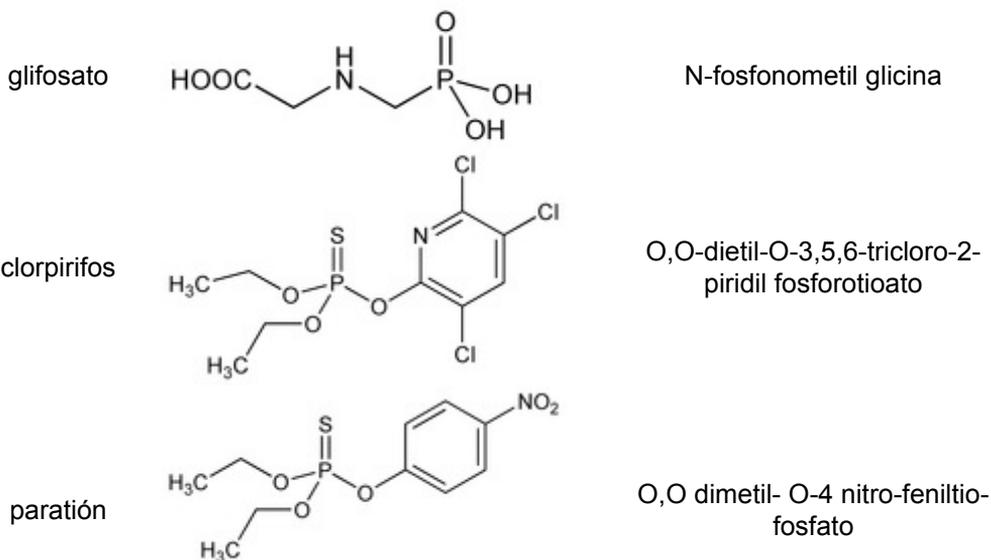
Es importante reconocer que las presentaciones comerciales de los plaguicidas contienen un principio activo, el cual es adicionado con coadyuvantes como adherentes, fluidificantes y estabilizantes que amplifican su acción. Igualmente, se emplean ciertos vehículos que hacen más efectiva su entrada a la planta o al organismo diana.

Con mucha frecuencia se usan aceites minerales, de los que se ha mostrado que tienen efectos carcinogénicos en piel, hígado y pulmón. Además, los productos comerciales disponibles para ser aplicados contienen impurezas relacionadas con el principio activo, las cuales en su mayoría son peligrosas (Sánchez y Sánchez, 1984; De los Santos *et al.*, 1997). Se han dado estimaciones que sólo 5% de las aplicaciones penetra el cultivo diana y el producto se disemina en una proporción hasta 200 veces mayor al que contiene el organismo al cual se le ha hecho la aplicación (De los Santos *et al.*, 1997).

Adicional al efecto directo sobre el organismo diana, es frecuente que se presente una acumulación de residuos tóxicos en los individuos que manejan estas sustancias. Los estudios de López y López (1993) evidenciaron la frecuencia de riesgo en poblaciones expuestas. Recientemente se ha mostrado que las condiciones que privan en grandes poblaciones de trabajadores agrícolas en el territorio mexicano son desde inseguras hasta peligrosas (Castillo *et al.*, 2017; Gómez, 2017; Hernández *et al.*, 2017).

## Cuadro 2. Estructura química y nomenclatura de seis plaguicidas organofosforados (POF)

plaguicida	estructura química	nomenclatura IUPAC
malatión		2-[(dimetoxifosforotioil)sulfanil] dietil butanodioato,
diclorvos		2-2-diclorovinil dimetil fosfato
diazinon		O,O-dietil-O-2-isopropil-6-metil-4 pirimidil fosforotioato



Fuente: Adaptado de (IARC, 2015).

Los procesos de aplicación y dispersión del plaguicida o sus derivados alcanzan a los medios abióticos, a los alimentos y sus consumidores. Esta acción que disemina los productos asperjados se favorece por diversos fenómenos físicos y otros de naturaleza química. Los reportes de residuos de malatión, diazinón y clorpirifos en jugos de frutas muestran la contaminación de medios abióticos y el transporte por la cadena alimentaria (Farajzadeh *et al.*, 2016).

Es importante considerar los fenómenos de acción directa que mueven las formulaciones por los medios abióticos y las cadenas tróficas, así como las interacciones entre los xenobióticos y las matrices biológicas. Los plaguicidas sufren transformaciones físicas, químicas y

biológicas; entre ellas, los fenómenos de adsorción, volatilización, dispersión, fotólisis y degradación química o bacteriana.

La adsorción depende del compuesto xenobiótico, de sus características fisicoquímicas de polaridad, solubilidad o hidrofobicidad, de las condiciones de humedad, temperatura, pH, la materia orgánica con que interacciona y la naturaleza del material en que se adsorbe. Es de importancia fundamental la materia coloidal del suelo, la cual es responsable directa de la adsorción del plaguicida al medio edáfico (Sánchez y Sánchez, 1984).

El parámetro que mide la solubilidad de una sustancia en medios orgánicos en relación al agua es el logaritmo del coeficiente de partición octanol-agua,  $\log K_{ow}$ . Ramírez (2015) ha reportado que el clorpirifos se adsorbe al suelo por largos períodos por sus características de baja solubilidad en agua ( $1.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Su  $\log K_{ow}$  es de 4.7, presión de vapor a  $25^\circ\text{C}$  de 1.43 mPa y baja capacidad de degradación dada por su estructura química estable (PPDB, 2017). Adicional a los POF como contaminantes de los medios abióticos, Zhang *et al.* (2017) estudiaron la relación entre la solubilidad y la estabilidad molecular en estructuras de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) y su co-contaminación. Los autores hallaron que la translocación de HAPs hasta tejidos de maíz estuvo correlacionada con valores de  $\log K_{ow}$  menores a 4.5, es decir, con menor liposolubilidad o mayor solubilidad en el agua del suelo.

La volatilización de parte del producto depende de su presión de vapor. En los POF esta propiedad es muy variable, ya que depende del estado físico de las formulaciones sólidas o líquidas. Las frecuentes formulaciones líquidas son más volátiles, cualidad que se aumenta por la temperatura ambiental. A mayor grado de volatilidad se favorece la contaminación del agua, suelo y/o aire distantes, con mayor ingreso al cuerpo por la vía respiratoria. El paratión tiene una presión de vapor de  $5 \times 10^{-3} \text{ Pa}$  y el malatión de  $16.6 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ , lo cual significa que el último es más volátil.

Las partículas minerales presentes en el suelo favorecen la acumulación de estos compuestos y, a su vez, son fuente de dispersión de los mismos. Liu *et al.* (2016) estudiaron la relación entre partículas de metales en el suelo sembrado con trigo (*Triticum aestivum* L.) y encontraron mayor riesgo de contaminación al cultivo por Mn, Ni y Pb que por Cu, Fe y Zn.

Por lixiviación, los productos que penetran en el suelo afectan micro flora y micro fauna edáficos, por tanto, el suelo pierde fertilidad. Por el drenaje, las disoluciones o suspensiones cargadas de los compuestos extraños llegan a los mantos freáticos. Las lagunas, ríos y los océanos son los recipientes finales que acumulan y dispersan productos disueltos o particulados en sedimentos y materia orgánica. Daud *et al.* (2017) han mostrado que el agua potable ingerida por 80% de la población paquistaní está cargada de contaminantes domésticos, industriales, así como de fertilizantes y plaguicidas empleados en la agricultura. Esta condición ha sido vinculada con 80% de las patologías y 33% de las muertes.

Algunas sustancias son sensibles a la luz y se oxidan. Este proceso cambia la reactividad química con la generación de radicales libres que aumentan la toxicidad. La formación de radicales superóxido e hidroxilo, peroxilo, hidroxiperoxilo, anión hidroxilo, peróxido de hidrógeno y especies reactivas de nitrógeno son responsables de transformaciones en moléculas nucleofílicas como ADN y proteínas. Estos cambios se manifiestan en patologías degenerativas, cáncer y envejecimiento celular. Se ha mostrado que diazinón, malatión y glifosato sufren estas transformaciones (Selmi *et al.*, 2012; Girón *et al.*, 2013; Barbosa *et al.*, 2017).

La degradación de los compuestos en condiciones externas o internas por el metabolismo y las biotransformaciones puede conducir a sustancias más tóxicas que el material original (Sánchez y Sánchez, 1984). El paratión, con una vida media de 180 d, genera el metabolito paraoxón de mayor toxicidad y vida media de 144 d (Dyguda-Kazimierowicz *et al.*, 2014). Ciertos POF presentes en granos como el maíz y el trigo se degradan en almacenamiento en sub-productos tóxicos. El disulfotón lo

hace en disulfotón sulfóxido y disulfotón sulfona, así como el terbufos en terbufos sulfona. González *et al.* (2017) sometieron granos de maíz y de trigo a un almacenamiento por tres meses, encontrando en el maíz almacenado una degradación de 34% de metil-pirimifos y 86% de disulfotón. En los granos de trigo estimaron 69% de terbufos y 92% de disulfotón y metil-pirimifos. Sin embargo, los esterres sufren una hidrólisis con la que se forman sustancias de mayor solubilidad y menos tóxicas.

Por otra parte, las transformaciones que sufren los organismos pueden ser sistémicas o locales según la sustancia, su concentración, frecuencia de la exposición, hábitat y vulnerabilidad de los organismos o de ciertos órganos susceptibles a efectos específicos. La consecuencia de estos procesos se manifiesta como una presencia residual de los compuestos originales y/o sus metabolitos (Rothleim *et al.*, 2006). Dichas evidencias han sido reportadas en leche por Salas *et al.* en 2003. Lacasana *et al.* (2010) midieron clorpirifos y malatión en hormonas tiroideas. Gutiérrez y García (2011) registraron metil paratión en muestras de tejido adiposo en ganado bovino. Urióstegui (2013) estimó metamidofos en espermatoцитos, células germinales maduras y células somáticas. De forma semejante, Venerosi *et al.* (2015) encontraron clorpirifos en hipotálamo y amígdala cerebral en ratón, tanto de manera localizada como en distribución sistémica.

La residualidad de estos compuestos puede considerarse como la respuesta de un sistema que confronta una condición de estrés extremo. Los agentes que intervienen son propios de la sustancia y del medio, ya sea biótico o abiótico. De parte del compuesto, intervienen su naturaleza, formulación, dosis de aplicación y frecuencia de uso. Cuando la sustancia externa interactúa con un organismo participan su genoma, el consiguiente metabolismo, farmacocinética, farmacodinamia y su estado nutricional. En el caso de un animal, contribuyen además las prácticas pecuarias que se ejercen sobre él y las condiciones ambientales. La residualidad del diurón en agua ha sido analizada por Sabbioni y Turesky (2017), con la evidencia de que forma aductos con el ácido

desoxirribonucleico (ADN) de poblaciones acuáticas. Estas uniones covalentes del plaguicida o una fracción del mismo, con bases preferenciales de guanina, tienen el significado de alteraciones genotóxicas como la mutagénesis (Martínez, 2014).

También actúan las condiciones sociales, las presiones económicas y las políticas de salud, así como el ejercicio de la normalización sobre los usos del compuesto. Son múltiples las interrelaciones entre todas las variables dentro de un insecto, un hongo, una maleza o los tejidos animales que concentran los productos tóxicos. Dicho conjunto de variables manifiesta un dinamismo que en muchas ocasiones sobrepasa los límites de la regulación que el organismo hace con procesos de destoxicación y excreción, produciendo un grave daño que en ocasiones termina con la muerte.

Por las razones comentadas, la residualidad es un indicador que evidencia su presencia y permite cuantificar tanto la magnitud de las aplicaciones, como sus efectos contaminantes. Por efecto de estos procesos de transporte se conoce la trazabilidad de los compuestos y se reconoce su presencia en agua, suelo, aire, cultivos, alimentos de origen vegetal y animal, tejidos y también en algunas secreciones.

## Acciones de los POF

Diversos estudios han dado información sobre los mecanismos de acción de los POF. El estrés oxidativo ha sido evidenciado como un mecanismo de acción con el que el plaguicida ejerce daño celular, el cual consiste en el desbalance celular del estado *redox*. Entre sus efectos se citan daños en biomoléculas de ADN, proteínas y lípidos de membrana, relación directa con cáncer y patologías multifactoriales (Saeidnia y Abdollahi, 2013; Toyokuni, 2016). Esta manera de acción se ha comprobado para el diazinón (Girón *et al.*, 2013), para el malatión (Selmi *et al.*, 2012; Toledo *et al.*, 2016), así como para el glifosato (Barbosa *et al.*, 2017).

La disrupción endocrina radica en alteraciones en la síntesis, transporte o degradación de hormonas. Lacasana *et al.* (2010) registraron esta manera de actuar en clorpirifos y malatión, principalmente en la glándula tiroidea. Los efectos sobre la transmisión del impulso nervioso se efectúan a través de la fosforilación de la serina de la AChE de eritrocito y la butirilcolinesterasa (BChE) del plasma sanguíneo (Lionetto *et al.*, 2013; Casida y Durkin, 2013).

Los mecanismos neurotóxicos del glifosato han sido estudiados al inicio y durante la maduración neuronal. Coullery *et al.* (2016) han dado información de un factor que induce la desregulación de la actividad catalítica de la CaMKII en células de mamífero. Venerosi *et al.* (2015) analizaron este mecanismo que ejerce el malatión sobre el aprendizaje en ratas.

Residuos de dietiltiotalquilos en la excreción de POF provocan modificaciones en la estructura del ADN al alquilar bases que tienen grupos nucleofílicos y conllevan a respuestas mutagénicas (Obiols, 1999; Ramírez, 2015). Acciones citotóxicas y genotóxicas se han evidenciado para el diclorvos al estudiar su presencia en la línea de cáncer de colon HCT 116. Se le encontró citotóxico al probar su viabilidad, su participación en la disminución del potencial de membrana mitocondrial y su contribución al modificar el proceso apoptótico. Indujo la formación de especies reactivas de oxígeno (ROS), seguida de lipoperoxidación al aumentar los niveles de malonaldehído (MDA). Con el Ensayo Cometa se valoró el daño provocado en el ADN (Ben Salem *et al.*, 2015).

Se han reportado respuestas genómicas por el polimorfismo del supresor tumoral p53:13964, del citocromo P450 1B1A3 (C>G) y sobre la expresión de la paraoxonasa 1 (PON1) (Liu *et al.*, 2016). Los mecanismos epigenéticos de metilación de citosinas del ADN, metilación y acetilación de histonas, hipermetilaciones, mutaciones múltiples, polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) y desintegración de la cromatina, se traducen en daños en genes, factores de transcripción y en las respectivas proteínas (Heard, 2016).

Otra manera de actuar de los POF es desregulando actividades enzimáticas. El glifosato actúa sobre la síntesis de aminoácidos aromáticos mediante la inhibición de la 5-enolpiruvil shikimato-3-fosfato sintetasa (Williams *et al.*, 2016).

La sinergia manifestada entre malatión con cipermetrinas y procloraz, así como entre diversos plaguicidas con metales pesados, implica, en la mayoría de ocasiones, estrés oxidativo y es otra forma de incidir en procesos cognitivos. Lanphear (2014) ha dado cuenta de la interferencia de los POF en las actividades cognitivas, disminuyendo el cociente intelectual en niños. En el mismo sentido, Gunier *et al.* (2016) han llamado la atención al calcular la disminución de esta capacidad entre -3.9 y -0.5 de la escala y de -4.4 y -1.3 en la comprensión verbal.

Los mecanismos por los cuales los POF actúan en las estructuras celulares con manifestaciones tóxicas tienen efecto por la biodisponibilidad que manifiesta el ser vivo por el xenobiótico. Esta capacidad depende de sus respuestas farmacocinéticas. Se ha mostrado que la absorción de los POF se hace por las vías oral, dérmica y respiratoria. También se ha comprobado que las exposiciones a sólidos son más efectivas por las vías dérmica y respiratoria. La exposición inhalatoria con aerosoles, gases o principios activos volátiles es más intensa que por las otras vías. La temperatura ambiental y la humedad relativa elevada son factores que favorecen la absorción cutánea de los POF. La toxicidad aguda por vía dérmica se mide con el LD<sub>50</sub> en mg/kg de peso corporal; en cambio, la medida convencional en la exposición inhalatoria es la CD<sub>50</sub> en mg/L de aire a las 4 horas de la exposición (Chen *et al.*, 2013).

Después que estos compuestos son absorbidos, se distribuyen por el torrente circulatorio de manera sistémica o particular. De acuerdo a su naturaleza lipofílica, se alojan en el tejido adiposo, riñón e hígado. La susceptibilidad de las madres preñadas y su producto es alta, porque hay un traspaso directo de los contaminantes maternos acumulados en el tejido adiposo hacia el feto. Venerosi *et al.* (2015) han informado que clorpirifos manifestó un efecto endocrino en madres preñadas y sus crías, además

de retraso de la condición psicomotora y la maduración cognitiva. En un modelo murino encontraron efectos en la locomoción, reconocimiento social y expresión de genes de marcadores neuroendocrinos en cerebro, además de alteraciones conductuales en la descendencia adulta de ambos sexos.

La transformación interna de los POF se hace preferentemente en el hígado. Su metabolismo involucra sistemas enzimáticos de hidrolasas, oxidasas de función múltiple, diversas isoformas del citocromo P450 y glutatión-S-transferasas. Entre las primeras, se conocen las esterasas B y la más estudiada es acetil colinesterasa (AChE), que actúa bloqueando el impulso nervioso. La metil paratión hidrolasa actúa sobre el sustrato correspondiente. Los oxones se hidrolizan con la paraoxonasa 1 (PON1), y a su vez dicha enzima modifica su acción por metil paratión y clorpirifos. Su acción metabólica se lleva a cabo por medio de receptores, tanto nicotínicos como muscarínicos. En los primeros, la acción está mediada por canales del ion sodio ( $\text{Na}^+$ ) que facilitan la permeabilidad de la membrana; en los segundos, participan proteínas G en la recepción del estímulo y la señalización de la respuesta (Peter *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2016).

Los fenómenos de detoxificación se realizan en el hígado mediante dos fases consecutivas, las cuales consisten en la formación de moléculas oxidadas, y éstas se conjugan con moléculas polares que facilitan la excreción. La expulsión se realiza por orina y heces, eliminando ciertas cantidades del tóxico en forma de compuestos alquilfosfatos solubles en agua. La eliminación principal de los derivados con grupos alquilo son el dimetilfosfato (DMP) y el dietilfosfato (DEP), así como el dimetilditiofosfato (DMDTP) que tiene un efecto mutagénico al alquilar bases de ADN. Los compuestos con grupo tiol, producto de la eliminación son: dimetiltiofosfato (DMTP), dietiltiofosfato (DETP) y el dietilditiofosfato (DEDTP) (Oblois, 1999; Chen *et al.*, 2013). Se ha informado de respuestas mutagénicas de los residuos de dietiltiolalquilos como agentes alquilantes en el ADN (Ramírez, 2015).

Los efectos nocivos a la salud por los POF son muy amplios dado que afecta a los individuos humanos, otros animales y la biota en sus diversas estructuras y niveles. Para conocer la respuesta biológica a una sustancia tóxica se utilizan diversos modelos de estudio llamados biomarcadores, los cuales dan cuenta del efecto producido por el tóxico a diferentes niveles, ya sean moleculares, bioquímicos, fisiológicos o celulares. En su conjunto, representan un recurso para vigilar la salud de trabajadores en la previsión de daños, diagnóstico o seguimiento en los procesos de la agricultura intensiva.

Los biomarcadores de exposición ofrecen una señal del tóxico o su metabolito o la interacción entre ese agente y una célula diana, y se mide en un compartimento, ya sea una célula, tejido u órgano. En esta clasificación se encuentra la estimación de inhibición de la acetilcolinesterasa en eritrocito o la butirilcolinesterasa en suero, como respuestas metabólicas. En cambio, la formación de aductos con el ADN o los estudios de aberraciones cromosómicas por número o por forma son evidencias a nivel genómico (Martínez, 2014).

Los biomarcadores de efecto indican cambios bioquímicos, fisiológicos o de comportamiento como resultado de la exposición al tóxico. Incluyen modificaciones en la actividad celular, alteraciones enzimáticas, incremento o disminución de ARNm o proteínas. Es muy factible ver efectos por medio del análisis de micronúcleos en linfocitos de sangre periférica, cavidad bucal u otras células *in vitro* (Martínez y Gómez, 2007; Prado *et al.*, 2009). Este estudio lo hace la Unión Europea (UE) para monitorear la respuesta de trabajadores agrícolas y mantener un seguimiento.

Los biomarcadores de susceptibilidad se refieren a la habilidad inherente o adquirida de un organismo para responder a la exposición de un xenobiótico. Muestran una relación causa-efecto o dosis-respuesta. En esta denominación se incluye la Prueba Cometa que valora la desagregación de ADN por medio de electroforesis de una sola célula en condiciones alcalinas (Prado *et al.*, 2009). Mediante este ensayo se ha

puesto de manifiesto la acción del diclorvos asociándolo con un efecto genotóxico (Ben Salem *et al.*, 2015).

También se hace monitoreo citogenético, valoración de cariotipos, intercambio de cromátidas hermanas (ICH), mediciones de la cinética de proliferación celular, apoptosis, valoración de las funciones hepáticas y renales con determinaciones de transaminasas, fosfatasa alcalina y del estatus *redox* mediante enzimas antioxidantes para informar de la condición de salud (Toledo, 2016). El autor estudió el estuario de Camichín, Nayarit en el territorio mexicano, en el cual encontró y midió la presencia de POF, metales pesados, bifenilos policlorados e hidrocarburos policíclicos. Estimó una probable sinergia de efectos de los profusos contaminantes que repercuten en oxidación de lípidos y proteínas, decremento de la AChE, como de las enzimas catalasa CAT, superóxido dismutasa SOD, glutatión-S-transferasa GST y glutatión peroxidasa GPx (Alpilux *et al.*, 2015; Toledo, 2016).

### ***Acciones secundarias de los POF en organismos superiores***

Las acciones más frecuentes de los POF sobre los individuos expuestos son las intoxicaciones que pueden ser leves, moderadas y severas. Se agrupan en tres síndromes: i) por su efecto muscarínico; ii) nicotínico; iii) sobre el sistema nervioso central (SNC). Las afecciones en los receptores muscarínicos se manifiestan en los ojos, membranas mucosas, bronquios, pulmón, tracto digestivo, corazón, vasos sanguíneos, vejiga, piel y glándulas exocrinas. La sintomatología por intoxicación de POF en bovinos presenta una sobre-estimulación colinérgica, bradicardia, hipotensión, broncoespasmo y estasis ruminal (Henderson *et al.*, 2012).

Las acciones de los POF sobre los receptores nicotínicos son especialmente graves. Al afectarse sinapsis ganglionares se presenta cefalea, mareos, palidez e hipertensión pasajera. En el músculo esquelético: calambres, debilidad generalizada y parálisis flácida. Por daños en el SNC

se han referido ansiedad, cefalea, confusión, depresión, convulsiones, perturbación mental, somnolencia y coma (Fernández *et al.*, 2010). Un estudio realizado por Palacios (2003) en unidades productivas de Sinaloa en el año 2000 mostró que 100% de los jornaleros estaban expuestos diariamente a la contaminación por plaguicidas. Evaluó 4% de intoxicaciones agudas y la sintomatología encontrada en estos jornaleros en fase aguda o persistente estuvo referida a problemas respiratorios, nerviosos, reproductivos y cansancio extremo.

Numerosos estudios evidencian la inhibición de la AChE por los POF. La serina del sitio activo de la AChE reacciona con el grupo fosforilo del plaguicida, y de esa manera inactiva a la enzima (Ofek y Soreq, 2013). Los oxones, que tienen enlaces P=O, son más sensibles a esta acción hidrolítica, mientras que los tionos con enlaces P=S penetran con mayor facilidad las membranas y son susceptibles de transformarse en oxones.

Las sinapsis colinérgicas se dan en fibras nerviosas autónomas preganglionares, postganglionares parasimpáticas, médula adrenal, musculares, glándulas sudoríparas y vasos sanguíneos. Los ganglios del encéfalo responden con receptores muscarínicos en el sistema parasimpático; en cambio en la médula, los ganglios actúan mediante receptores nicotínicos e iguales receptores actúan en las placas terminales de los músculos en el sistema nervioso somático. La unión del ligando acetilcolina con el receptor activa canales de Na<sup>+</sup> y del ion potasio (K<sup>+</sup>) que facilitan la liberación del neurotransmisor al espacio intersináptico, el cual es recogido en la neurona postsináptica. En la inactivación de la AChE se bloquea esta función (Khan *et al.*, 2018).

### **Cuantificación de POF**

Los residuos de POF se encuentran en bajas cantidades y es de importancia metodológica que los datos sean registrados con criterios de selectividad, especificidad y de alta resolución. Igualmente, es un requisito que

se cubran las características analíticas de exactitud, precisión, repetibilidad, reproducibilidad, y su confiabilidad esté respaldada por estudios estadísticos.

Las determinaciones analíticas más frecuentes siguen un protocolo de extracción de los compuestos de interés; purificación de los mismos por medio de matrices como sílica, alúmina o florisil; son eluidos con solventes específicos dadas sus cualidades de miscibilidad, y son cuantificados por cromatografía de gases con detectores NPD (GC-NPD) (Alarcón *et al.*, 2014).

Gutiérrez y García (2011) emplearon una matriz de dispersión de fase sólida acoplada a extracción en fase sólida y cuantificaron por HPLC con detector de arreglo de diodos (MSPD-SPE-HPLC/DAD). Midieron metil paration, fenitrotión, paratión, clorfenvinfos, diazinón, etión, fenclorfos, clorpirifos y carbofenotión en tejido de bovino, con las consiguientes características de linealidad,  $R^2$ , desviación estándar (DE), límite de detección (LOD), límite de cuantificación (LOC) y porcentaje de recuperación. La sensibilidad del sistema analítico encontró concentraciones de  $0.04\text{-}0.25 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Por otro lado, los microdetectores de captura de electrones (mECD) en la cromatografía de gases (GC) ofrecen alta sensibilidad y se emplean con beneficios analíticos (Akoto *et al.*, 2016).

En las mediciones de sedimentos en agua, peces y riesgos por la ingesta de peces contaminados, Akoto *et al.* (2016) han empleado sonicación con ultrasonido y extracción con Soxhlet. Cuantifican con GC-ECD acoplado a otro detector fotométrico de flama pulsada y tienen la capacidad de detectar clorpirifos en concentración de  $0.160 \mu\text{g}/\text{g}$ .

Para determinaciones de residuos de malatión, fosalone, diclorvos, diazinón, profenofos y clorpirifos en jugos de frutas y determinaciones acuosas, Farajzadeh *et al.* (2016) han hecho modificaciones con tratamientos a altas temperaturas y detector de ionización de flama (FID), con los que han obtenido altos valores de linealidad ( $R^2 > 0.994$ ) y concentraciones de  $2.60\text{-}7.36 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ .

Los estudios mutiresiduos exigen métodos llamados *Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged and Safe* (QuEChERS) que utilizan GC-ECD y detectores termoiónicos de flama (GC/ECD/FTD). Para la confirmación utilizan cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (GC-MS). Cuando estimaron residuos de 15 POF hallaron muy buenas características analíticas y midieron concentraciones en el orden de 0.05-2.5  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  (Tripathy *et al.*, 2016).

Otros estudios utilizaron la extracción líquido-líquido acoplada a extracción en fase sólida (SPE) y derivatizaron antes de medir concentraciones por GC-MS-MS. Lograron obtener datos de linealidad de cinco metabolitos de POF en el rango de 0.2 a 200  $\mu\text{g}/\text{L}$  con un valor de  $R^2 \geq 0.992$ . La LOD fue de 0.25-2.5  $\mu\text{g}/\text{L}$  y las recuperaciones de los metabolitos tuvieron valores desde 54.08% hasta 82.49% (Xin *et al.*, 2017).

La formación de aductos entre POFs y la albúmina se considera un biomarcador de la exposición a los POF (Sabbioni y Turesky, 2017). Con esta metodología se ha medido el herbicida diurón en agua. Para identificar esta respuesta se usó MS y para cuantificar los compuestos de interés se ocupó GC-MS. Los valores LOD oscilaron entre 2 nM para dimetoato, de  $0.68 \pm 0.076$  mg/L para diclorvos y 2 pM cuando se determinó la enzima AChE.

La estimación de la AChE en sangre o la BChE en el suero es otro biomarcador de exposición. Este estudio se basa en la inhibición de la enzima, la cual se mide por espectrofotometría mediante un sistema cromógeno que muestra diferencia en la intensidad de color en condiciones oxidado y reducido (López y López, 1993).

Mahpishanian y Sereshti (2016) midieron ocho POF en jugos de cítricos con respuestas excepcionales. Utilizaron los recursos de la nanotecnología con microextracción en fase sólida. La preparación del nanocompuesto magnético de grafeno tridimensional 3D-G- $\text{Fe}_3\text{O}_4$  se aprovechó como un compuesto adsorbente en la extracción de fase sólida (MSPE). Adicionalmente hicieron las cuantificaciones por GC-NPD y confirmaron los resultados con GC-MS.

Alarcón *et al.* (2014) reportaron el uso de detectores amperométricos para la cuantificación de POF. Actualmente, el uso de la nanotecnología aplicada a técnicas electroquímicas en el desarrollo de biosensores ha permitido mejorar los sistemas de detección, haciéndolos específicos, rápidos, sencillos, eficaces, confiables y de bajo costo. La tendencia del uso de los biosensores es el análisis *in situ*, lo cual es favorecido por el uso de las técnicas electroquímicas, ya que éstas permiten el análisis de POF en una matriz compleja en tiempo real. Con el empleo de biosensores se ha logrado tener LOD para diclorvos de  $2.0 \text{ ng}\cdot\text{mL}^{-1}$ , para paraoxón de  $1.37 \times 10^{-7} \text{ M}$  y para metil paratión de  $5 \times 10^{-14} \text{ M}$ . Bajo este mismo modelo de biosensores y adsorbentes idóneos, mediante el uso de anticuerpos como agentes de bio-reconocimiento y nanopartículas de oro en el desarrollo de los biosensores, se ha favorecido la alta especificidad analítica de POF, alcanzando LOD de  $0.5 \text{ nM}$  en plasma sanguíneo.

Rashidi *et al.* (2017) han generado el nanocompuesto híbrido magnético sol-gel  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ @G-TEOS-MTMOS y han obtenido un LOD abajo del nivel residual de  $100 \text{ pg mL}^{-1}$ , que la UE ha establecido para el agua de consumo humano.

### **Consecuencias de aplicaciones de POF**

Al recapitular sobre los problemas de contaminación por POF, es perentorio dar un panorama actual de un compuesto de aplicación masiva. Este herbicida sintético responde a la estructura de N-fosfonometil glicina, es llamado glifosato y ha tenido un amplio consumo (Bradley *et al.*, 2017). Tiene efectos sobre malezas anuales, perennes y leñosas, circula por el sistema vascular; en el suelo, se incorpora en forma particulada, tiene escasa movilidad y aún puede llegar al agua subterránea (Bedmar, 2009). Se le ha encontrado en el agua de ríos, suelo, cultivos de trigo, cebada, fresa, cereza, soya, en crema de café, algodón, yema de huevo, en 90% de cultivos transgénicos, sangre, orina, leche humana, alimentos infantiles,

en tejidos y secreciones humanas (Watts *et al.*, 2015). Su LD<sub>50</sub> oral fue calculado en 5600 mg/kg (Bedmar, 2009). La IARC (2015) lo clasificó en el grupo 2A como posible carcinógeno en humanos. Se le vincula con tumores testiculares, renales y de tiroides, con linfoma no Hodgkin (Schinasi y León, 2014), disminución en la cantidad de espermatozoides, baja calidad del semen (Cai *et al.*, 2017). En ratas, se le asocia con disminución de reflejos, discapacidad motora, lentitud en el aprendizaje, sinapsis defectuosas, axones y dendritas más cortos y tardíos. Adicionalmente, se ha mostrado su efecto neurotóxico con retardo en el desarrollo (Coullery *et al.*, 2016). Altera la síntesis de aminoácidos aromáticos, y por esta razón disminuye la calidad de proteína en las leguminosas (Firdous *et al.*, 2017). Su acción se ha vinculado con el movimiento transgénico en el polen de los polinizadores naturales (Yan *et al.*, 2015). En sistemas acuáticos, afecta algas y peces con retardo en el crecimiento, genera cambios histopatológicos, altera actividades enzimáticas y presenta disminución de la actividad sexual. Derivado de su naturaleza y sus aplicaciones se ha verificado su efecto adverso en la ecología, en contraparte con información que señala sus beneficios (Bai *et al.*, 2016; Shilo *et al.*, 2016).

En la actualidad, se han formulado abundantes declaraciones de patologías laborales producidas por la agricultura intensiva y por sus aplicaciones periurbanas. De manera particular, se ha hablado enfáticamente del paratión y diclorvos catalogados como extremadamente tóxicos en la clasificación I; del malatión y clorpirifos, que pertenecen al grupo III, los cuales son medianamente tóxicos, y del glifosato declarado como posiblemente cancerígeno en humanos, de modo que se solicitó a los Organismos Internacionales su inclusión entre los plaguicidas prohibidos en mayo del 2017. El objetivo de estas peticiones pretende disminuir las aplicaciones de estos productos sobre el ambiente, proteger la salud y mejorar la calidad e inocuidad de alimentos (Bejarano, 2017; Bejarano y RAPAM, 2017).

## CONCLUSIONES

La vastedad de los POF, las mezclas que se aplican, las adiciones de disolventes, coadyuvantes y emulsificantes, así como los productos de transformación de los compuestos originales amplían el panorama tóxico de las formulaciones en múltiples respuestas. Sin embargo, las respuestas sinérgicas han sido poco estudiadas por su amplitud y mayor complejidad. Hay abundantes descripciones de compuestos particulares y sus daños a la salud, mientras que es perentorio ampliar la red de conocimiento a los aspectos genómicos y epigenómicos. Igualmente es necesario conocer cómo estos compuestos, o sus derivados residuales en los alimentos, inciden en los procesos relacionados con la nutrición o con la nutrigenómica.

Se muestra un avance metodológico en las determinaciones de POF con recursos de nanosensores, los cuales han ampliado la relación entre concentraciones bajas de los compuestos y sus efectos sobre la salud. Estos datos que refieren su presencia en tejidos y alimentos expresan congruencia con las consecuencias del mal manejo de los POF. Es muy necesario que las estructuras de salud, nacionales e internacionales, analicen y atiendan el deterioro sanitario en amplios núcleos humanos a fin de disponer de modelos productivos sanos.

La unidad planetaria en los recursos bióticos y abióticos expresa su capacidad auto-organizativa y resiliencia al contender con el riesgo, no obstante, el umbral de regulación alerta sobre una elevada condición de peligro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Akoto, O. *et al.*, 2016, "Pesticide residues in water, sediment and fish from Tono Reservoir and their health risk implications", en *Springer-plus*, 5(1): 1849-1852.
- Alarcón, G. *et al.*, 2014, "Graphene and Carbon Nanotube-based Electrochemical Biosensors for Environmental Monitoring", en A. Tiwari, S. K. Shukla (comps.), *Advanced Carbon Materials and Technology*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, Nueva York, EUA.
- Apilux, A. *et al.*, 2015, "Paper-based acetylcholinesterase inhibition assay combining a wet system for organophosphate and carbamate pesticides detection", en *EXCLI J*, 14(1): 307-319.
- Bai, H. y S. Ogbourne, 2016, "Glyphosate: environmental contamination, toxicity and potential risks to human health via food contamination", en *Environ Sci Pollut Res Int*, 23(19): 1898-1910.
- Barbosa, M. C. *et al.*, 2017, "Evaluación de daño al ADN en leucocitos de sangre periférica humana expuestos al herbicida glifosato", en *Rev Int Contam Ambie*, 33(3): 403-410.
- Bedmar, F., 2009, "¿Qué son los plaguicidas?", en <http://www.agro.uba.ar/users/semarnat/>, consultado el 03/04/2017.
- Bradley, P. M. *et al.*, 2017, "Expanded Target-Chemical Analysis Reveals Extensive Mixed-Organic-Contaminant Exposure in U.S. Streams", en *Environ Sci Technol*, 51(9): 4792-4802.
- Bejarano, F., 2017, "Los plaguicidas altamente peligrosos nuevo tema normativo internacional y su perfil nacional en México", en G. Bejarano (comp.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México*. RAPAM, CIAD, UCCS, INIFAP, IPEN, PNUD, Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A. C., Ciudad de México, México.
- Bejarano, F. y RAPAM, 2017, "La Comisión registra la Iniciativa Ciudadana Europea contra el glifosato libres de contaminantes hormonales", en <http://wordpress.com/2017701/11>, consultado el 3/06/2017.

- Ben, I. *et al.*, 2015, "Dichlorvos-induced toxicity in HCT116 cells. Involvement of oxidative stress and apoptosis", en *Pestic Biochem Physiol* 119(1): 62-66.
- Cai, W. *et al.*, 2017. "Effects of glyphosate exposure on sperm concentration in rodents: A systematic review and meta-analysis", en *Environ Toxicol Pharmacol*, 55 (1): 148-155.
- Casida, E. y K. Durkin, 2013, "Neuroactive insecticides: targets, selectivity, resistance, and secondary effects", en *Annu Rev Entomol* 58(1): 99-117.
- Castillo, J. *et al.*, 2017, "El uso de plaguicidas altamente peligrosos en la floricultura en el Estado de México y el efecto sinérgico de las mezclas", en G. F. Bejarano (comp.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México. RAPAM, CIAD, UCCS, INIFAP, IPEN, PNUD, Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A. C., Ciudad de México, México.*
- Chen, L. *et al.*, 2013, "Absorption and excretion of organophosphorous insecticide biomarkers of malathion in the rat: implications for overestimation bias and exposure misclassification from environmental biomonitoring", en *Regul Toxicol Pharmacol*, 65(3): 287-293.
- Coullery, R. P. *et al.*, 2016, "Neuronal development and axon growth are altered by glyphosate through a WNT non-canonical signaling pathway", en *Neurotoxicology*, 52(1): 150-161.
- Daud, K. *et al.*, 2017, "Drinking Water Quality Status and Contamination in Pakistan", en *Biomed Res Int*, 2017(1): 1-18.
- De los Santos, B. *et al.*, 1997, "Estudio de los plaguicidas en la agroindustria de Costa Rica", CEN 708, en <http://www.incae.edu/ES/clacds/publicaciones/pdf/cen708.pdf>, consultado el 20/05/2017.
- Dyguda, E. *et al.*, 2014, "Alkaline hydrolysis of organophosphorus pesticides: the dependence of the reaction mechanism on the incoming group conformation", en *J Phys Chem B*, 118(26): 7277-7289.
- Farner, J. *et al.*, 2017, "Chlorpyrifos degradation via photoreactive TiO<sub>2</sub> nanoparticles: Assessing the impact of a multi-component degradation scenario", en *J Hazard Mater*, pii: S0304-3894(17): 30918-30924.

- Farajzadeh, M. A. *et al.*, 2016, "Application of elevated temperature-dispersive liquid-liquid microextraction for determination of organophosphorus pesticides residues in aqueous samples followed by gas chromatography-flame ionization detection", en *Food Chem*, 212(1): 198-204.
- Fernández, D. y L. Mancipe, 2010, "Intoxicación por organofosforados", en *Revista Med*, 18(1): 84-92.
- Firdous, S. *et al.*, 2017, "Identification and Analysis of 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS) Gene from Glyphosate Resistant *Ochrobactrum intermedium* Sq20", en *Pest Manag Sci*, 2017(1): 148-153.
- Girón, P. M. *et al.*, 2013, "Participación del estrés oxidativo en la inmunotoxicidad inducido por diazinón en células de rata Wistar", en IX Congreso Nacional de Toxicología. Sociedad Mexicana de Toxicología. Mecanismos de Inmunotoxicidad CIBICI, Nueva Vallarta, Nayarit, México.
- Gómez, I., 2017, "El uso de plaguicidas altamente peligrosos en la Península de Yucatán", en G. F. Bejarano (comp.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México. RAPAM, CIAD, UCCS, INIFAP, IPEN, PNUD*, Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A. C., Ciudad de México, México.
- González, M. *et al.*, 2017, "Dissipation kinetics organophosphorus pesticides in milled toasted maize and wheat flour (gofio) during storage", en *Food Chem*, 15(229): 854-859.
- Gunier, R. B. *et al.*, 2016, "Prenatal Residential Proximity to Agricultural Pesticide Use and IQ in 7-Year-Old Children", en *Environ Health Perspect*, 125(5): 057-062.
- Gutiérrez, V. T. M. y L. M. P. García, 2011, "Determination of organophosphorus pesticides in bovine tissue by an on-line coupled matrix solid-phase dispersion-solid phase extraction-high performance liquid chromatography with diode array detection method", en *J Chromatogr A*, 1218(39): 6869-6877.

- Heard, E., 2016, "Epigènétique et cancer", en [http://www.college-de-france.fr/site/edith-heard/\\_course.htm](http://www.college-de-france.fr/site/edith-heard/_course.htm), consultado el 20/05/2017.
- Henderson, D. *et al.*, 2012, "Pyridostigmine bromide protection against acetylcholinesterase inhibition by pesticides", en *J Biochem Mol Toxicol*, 26(1): 31-34.
- Hernández, U. *et al.*, 2017, "Los plaguicidas altamente peligrosos en los Altos de Chiapas", en G. F. Bejarano (comp.), *Los plaguicidas altamente peligrosos en México. RAPAM, CIAD, UCCS, INIFAP, IPEN, PNUD*, pp. 247-262, *Red de Acción sobre Plaguicidas y Alternativas en México A. C.*, Ciudad de México, México.
- IARC, 2015, "Some organophosphate insecticides and herbicides. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans", International Agency for Research on Cancer, en <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol112/mono112.pdf>, consultado el 10/05/2016.
- Khan, H. *et al.*, 2018, "Flavonoids as acetylcholinesterase inhibitors: Current therapeutic standing and future prospects", en *Biomed Pharmacother*, 101(1): 860-870.
- Ko, C. *et al.*, 2018, "Persistent organic pollutants in Antarctic notothenioid fish and invertebrates associated with trophic levels", en *PLoS One*, 13(4):e0194147- e0194157.
- Lacasana, M. *et al.*, 2010, "Interaction between organophosphate pesticide exposure and PON1 activity on thyroid function", en *Toxicol Appl Pharmacol*, 249(1): 16-24.
- Lanphear, B., 2014, "Little Things Matter", en <http://youtube.com/watch?v=DbIB24jcA>, consultado el 22/05/2016.
- Lionetto, M. G. *et al.*, 2013, "Acetylcholinesterase as a biomarker in environmental and occupational medicine: new insights and future perspectives", en *Biomed Res Int*, 2013(1): 321-327.
- Liu, X. Y. *et al.*, 2016, "Improved efficiency of a novel methyl parathion hydrolase using consensus approach", en *Enzyme Microb Technol*, 2016 93-94.

- López, L. y C. López, 1993, "Effect of exposure to organophosphate pesticides on serum cholinesterase levels", en *Arch Environ Health*, 48(5): 359-363.
- Mahpishanian, S. y H. Sereshti, 2016, "Three-dimensional graphene aerogel-supported iron oxide nanoparticles as an efficient adsorbent for magnetic solid phase extraction of organophosphorus pesticide residues in fruit juices followed by gas chromatographic determination", en *Chromatogr A*, 1443(1): 43-53.
- Martínez, G., 2014, *Efecto de la exposición de plaguicidas sobre la calidad espermática, daño al DNA y su asociación con los polimorfismos de GST*, tesis Maestría en Ciencias Químicas, Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM), Estado de México, México.
- Martínez, C. y A. Gómez, 2007, "Riesgo genotóxico por exposición a plaguicidas en trabajadores agrícolas", en *Rev Int Contam Ambie*, 23(4): 185-200.
- Obiols, J., 1999, "NTP 513: Plaguicidas organofosforados (II): toxicodinamia y control biológico", en *Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales España*, 3(1): 209-216.
- Ofek, K. y H. Soreq, 2013, "Cholinergic involvement and manipulation approaches in multiple system disorders", en *Chem Biol Interact*, 203(1): 113-119.
- Peter, J. V. et al., 2014, "Clinical features of organophosphate poisoning: A review of different classification systems and approaches", en *Indian J Crit Care Med*, 18(11): 735-745.
- PPDB, 2017, "Pesticide Properties Database. University of Hertfordshire", en <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>, consultado el 22/05/2016.
- Prado, G. et al., 2009, "Genotoxicity of heptachlor and heptachlor epoxide in human TK6 lymphoblastoid cells", en *Mut Res*, 673(2): 87-91.
- Ramírez, R., 2015, *Asociación entre la exposición a organofosforados y la paraoxonasa 1 (PON1) y las alteraciones neurocognitivas en niños y adolescentes de una comunidad agrícola en San Luis Potosí*, tesis Doctora-

do en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí (UASLP), San Luis Potosí, México.

- Rashidi, H. *et al.*, 2017, "New magnetic graphene-based inorganic-organic sol-gel hybrid nanocomposite for simultaneous analysis of polar and non-polar organophosphorus pesticides from water samples using solid-phase extraction", en *Chemosphere*, 166(1): 21-30.
- Rothlein, J. *et al.*, 2006, "Organophosphate pesticides exposure and neurobehavioral performance in agricultural and nonagricultural hispanic workers", en *Environ Health Perspec*, 114(5): 691-696.
- Sabbioni, G. y R. J. Turesky, 2017, "Biomonitoring Human Albumin Adducts: The Past, the Present, and the Future", en *Chem Res Toxicol*, 30(1): 332-366.
- Saeidnia, S. y M. Abdollahi, 2013, "Toxicological and pharmacological concerns on oxidative stress and related diseases", en *Toxicol Appl Pharmacol*, 273(3): 442-455.
- Salas, H. *et al.*, 2003, "Organophosphorus pesticide residues in Mexican commercial pasteurized milk", en *J Agric Food Chem*, 51(15): 4468-4471.
- Sánchez, M. J. y M. C. Sánchez, 1984, "Aspects of the Adsorption of Azinphos-methyl by Smectites", en *J Agric Food Chem*, 32(4): 720-725.
- Schinasi, L. y M. E. León, 2014, "Non-Hodgkin Lymphoma and Occupational Exposure to Agricultural Pesticide Chemical Groups and Active Ingredients: A Systematic Review and Meta-Analysis", en *Int J Environ Res Public Health*, 11(4): 4449-4527.
- Selmi, S. *et al.*, 2012, "Oxidative stress and cholinesterase inhibition in plasma, erythrocyte and brain of rats' pups following lactational exposure to malathion", en *Environ Toxicol Pharmacol*, 34(3): 753-760.
- Semarnat, 2013, Persistencia. Bioacumulación, biomagnificación y toxicidad de Llas sustancias, en [www.profep.gob.mx/innovaportal/file/6640/1/nom-165semarnat.org](http://www.profep.gob.mx/innovaportal/file/6640/1/nom-165semarnat.org), consultado el 10/06/2017.
- Shilo, T. *et al.*, 2016, "Mechanism of glyphosate control of *Phelipanche aegyptiaca*", en *Planta*, 244(5): 1095-1107.

- Toledo, G. *et al.*, 2016, "Assessment of pollution of the Boca de Camichín Estuary in Nayarit (México) and its influence on oxidative stress in *Crassostrea corteziensis* oysters", en *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 200(1): 47-55.
- Toyokuni, S., 2016, "Oxidative stress as an iceberg in carcinogenesis and cancer biology", en *Arch Biochem Biophys*, 595(1): 46-49.
- Tripathy, V. *et al.*, 2016, "Validation of a QuEChERS-based gas chromatographic method for analysis of pesticide residues in *Cassia angustifolia* (senna)", en *J Environ Sci Health B*, 51(8): 508-518.
- Urióstegui, D., 2013, "Metamidofos en espermatoцитos, células germinales maduras y células somáticas", en *Tercer Simposio sobre Plaguicidas*, Puebla, México.
- Venerosi, A. *et al.*, 2015, "Effects of maternal chlorpyrifos diet on social investigation and brain neuroendocrine markers in the offspring. A mouse study", en *Environ Health*, 14(1): 32-37.
- Wang, P. *et al.*, 2016, "Identification of multi-insecticide residues using GC-NPD and the degradation kinetics of chlorpyrifos in sweet corn and soils", en *Food Chem*, 212(1): 420-426.
- Watts, M. *et al.*, 2015, "Glyphosate", en <http://pan-international.org>, consultado el 10/06/2017.
- Williams, M. *et al.*, 2016, "Review of the carcinogenic potential of glyphosate by four independent expert panels and comparison to the IARC assessment", en *Crit Rev Toxicol*, 46(sup1): 3-20.
- Xin, Y. *et al.*, 2017, "Simultaneous determination of eight metabolites of organophosphate and pyrethroid pesticides in urine", en *J Environ Sci Health B*, 52(1): 1-9.
- Yan, S. *et al.*, 2015, "Pollen-mediated gene flow from transgenic cotton under greenhouse conditions is dependent on different pollinators", en *Sci Rep*, 5 (1): 15917-15923.
- Zhang, C. *et al.*, 2017, "The wetting behavior of aqueous surfactant solutions on wheat (*Triticum aestivum*) leaf surfaces", en *Soft Matter*, 13(2): 503-513. 11-17.



# Guía para autores

## Tipo de contribución

1. Artículos de investigación
2. Notas de investigación
3. Ensayos y revisiones bibliográficas
4. Reseñas de libros y comentarios

Los Artículos de investigación deben reportar resultados de investigaciones originales y no haber sido entregados para su publicación en cualquier otro medio. Los artículos no deben rebasar más de 30 cuartillas manuscritas incluyendo figuras, cuadros, referencias, etc.

Las Notas de investigación son una descripción concisa y completa de una investigación limitada, la cual no puede ser incluida en un estudio posterior.

La Nota científica debe estar completamente documentada por referencias bibliográficas y describir la metodología empleada como en un artículo de investigación. No deberá exceder las 15 cuartillas, incluyendo figuras, cuadros y referencias.

Los Ensayos y revisiones bibliográficas deben incluir un tema de interés actual y relevante. Estos trabajos no deben exceder las 20 cuartillas.

Las Reseñas de libros pueden ser incluidas en la revista en un rango de libros relevantes que no tengan más de 2 años de haber sido publicados. Las reseñas no deben exceder las seis cuartillas.

## Presentación de textos

La presentación implica que todos los autores autorizan la publicación del documento y que están de acuerdo con su contenido. Al aceptar el ar-

título la revista puede cuestionar al (las, los) autor (as, es) para transferir el derecho de su artículo a la editorial.

Los trabajos para consideración pueden ser enviados de dos formas:

1. Archivo electrónico. Se enviará en documento de Word como un archivo adjunto al correo electrónico [aalvarez@correo.xoc.uam.mx](mailto:aalvarez@correo.xoc.uam.mx).

Mediante la misma vía se realizará el acuse de recibo.

### **Archivo electrónico**

Se enviará el trabajo en dos archivos adjuntos. El primero incluirá el texto completo; el segundo, en caso de existir, las gráficas, tablas o figuras. El documento deberá tener los cuatro márgenes de 2.5 centímetros y numerarse de manera continua todos los renglones. El tipo de letra será Arial, tamaño 12 puntos a espacio de 1.5 de interlínea. Las cuartillas deberán estar numeradas.

### **Preparación y consideraciones generales para el manuscrito:**

1. El texto deberá ser escrito en español, inglés o francés.
2. Si se decide enviar el documento impreso, es necesario adjuntar las ilustraciones originales y dos juegos de fotocopias (tres impresiones de una fotografía).
3. Deberá tener las líneas numeradas, incluyendo resumen, pies de página y referencias.
4. El texto deberá tener el siguiente orden:
  - Título (Claro, descriptivo y corto).
  - Nombre del (las, los) autor (as, es).
  - Teléfono, correo electrónico y fax del primer autor para recibir correspondencia.
  - Dirección actual del (las, los) autor (as, es).

- Resumen.
- Palabras clave (términos indexados) de 3 a 6.
- Introducción.
- Descripción del área, métodos y técnicas.
- Resultados.
- Discusión.
- Conclusión.
- Agradecimientos y reconocimientos.
- Referencias.
- Cuadros.
- Mapas o anexos diversos.

Nota: El título y subtítulo deberán estar en líneas diferentes sin sangrías. Se utilizarán altas y bajas; se escribirá con mayúsculas el carácter inicial y los nombres propios.

5. Se deben utilizar unidades del Sistema Internacional (SI).

## **Resumen**

El resumen deberá ser claro, descriptivo y contener no menos de 800 ni más de 900 caracteres sin considerar los espacios para cada uno de los idiomas en que se presente. Se deberá incluir el resumen en español. Es conveniente incluir en el resumen los resultados más significativos, así como las principales conclusiones.

## **Cuadros**

1. El autor deberá tener en cuenta las limitaciones en tamaño y presentación de la revista. Deberán evitarse cuadros largos, y exceder las dimensiones de una cuartilla (21 x 27.9 centímetros). El cambiar columnas y renglones puede reducir la dimensión del cuadro.

2. Los cuadros se enumeran de acuerdo a su secuencia en el texto y en números arábigos. El texto debe incluir la fuente de todos los cuadros.
3. Cada cuadro estará impreso en una cuartilla separada del texto.
4. Cada cuadro debe tener un título corto y autoexplicativo. El tipo de letra deberá ser el mismo que el utilizado en el texto (arial, 12 pts.) y colocarse al centro y arriba.
5. Los cuadros elaborados deberán ser propios con base en la información generada por los (as) autores (as). Si llegasen a utilizar información secundaria, deberá darse el crédito correspondiente a la fuente utilizada.

## **Ilustraciones**

1. Todas las ilustraciones (mapas, líneas de dibujo y fotografías) deberán enviarse por separado, sin marco y ajustarse al tamaño de una cuartilla (21 x 27.9 cm).
2. Las ilustraciones deberán ser secuenciadas con números arábigos de acuerdo al texto. Las referencias deben ser hechas en el texto para cada ilustración.
3. Las ilustraciones que contengan texto deberán estar en Indian ink o en etiquetas impresas. Asegurarse que el tamaño del carácter sea lo bastante grande para permitir una reducción del 50% sin volverse ilegible. Los caracteres deberán estar en español, inglés y francés. Usar el mismo tipo de carácter y estilo de la revista.
4. Cada ilustración debe tener una leyenda.
5. Las fotografías sólo son aceptables si tienen un buen contraste e intensidad. Las copias deben ser nítidas y brillantes.
6. Pueden enviarse ilustraciones a color, pero deberá tomarse en cuenta que serán convertidas en escala de grises para su publicación.
7. El formato de entrega será tiff o eps en alta resolución (300 dpi a tamaño carta o proporcional para su manejo).

## Referencias

1. Todas las publicaciones citadas a lo largo del documento deberán ser presentadas con datos en la lista de referencias al final del texto.
2. Dentro del texto, al referirse a un autor (as, es) deberá hacerse sin inicial seguido del año de publicación y, de ser necesario, por una referencia corta sobre las páginas. Ejemplo: “Desde que Martínez (2007) demostró que...”, “Esto coincide con resultados posteriores (Sánchez, 2009: 20-21)”.
3. Si la referencia que se indica en el texto es escrita por más de dos autores, el nombre del primer autor será seguido por “et al.” o “y colaboradores”. Esta indicación, sin embargo, no deberá ser usada en la lista de referencias ni en itálicas.
4. La lista de referencias deberá indicarse en orden de acuerdo al apellido del (as, os) autor (as, es), y cronológicamente por autor.
5. Usar el siguiente sistema para indicar las referencias:

### a. De publicación periódica

Gligo, N., 1990, “Los factores críticos de la sustentabilidad ambiental del desarrollo agrícola”, Comercio Exterior, 40(12):135-142.

### b. Editado en Simposium

Edición especial etc, publicación en periódico CIAT-UNEP, 1995, Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe, Documento de discusión, Taller regional sobre uso y desarrollo de indicadores ambientales y de sustentabilidad, PNUMA, México.

**c. De libros**

Sassen, S., 1999, *La ciudad global*, Universidad de Buenos Aires, Argentina.

**d. De un capítulo en libro**

Muñoz, O., 1991, "El proceso de industrialización: teorías, experiencias y políticas", en Sunkel, O., (comp.), *El desarrollo desde dentro*, Lecturas, núm. 71, FCE, México.

**e. De tesis**

Evangelista, O. y C. Mendoza, 1987, *Calendarios agrícolas en cuatro ejidos del Municipio de Coxquibui, Veracruz*, tesis de Licenciatura en Biología, Facultad de Ciencias, UNAM. México.

**f. De referencias de sitios**

Banco Central de la República Argentina, 2005. "Entidades Financieras: Información por entidad", disponible en <http://www.bcr.gov.ar/comunes/p0003.asp>, consultado el 23/01/2005. Fecha última actualización: 07/01/2005. Unión Cívica Radical: Comité Nacional (UCR Web). Disponible en: <http://wwwwww.ucr.org.ar/>, consultado el 28/10/2000.

g. De artículos de publicaciones periódicas en bases de datos

Schrader, A., 1999, "InternetCensorship: Issues for teacher-librarian", en *Teacher Librarian*, vol. 26, núm. 5, *Academic Search Elite*, pp. 8-12, disponible en <http://www.epnet.com/ehost/login.html>, consultado el 28/11/2000.

Para otros ver detalles en página web de la revista.

## Fórmulas

1. Las fórmulas deberán ser escritas de acuerdo a los estándares de la revista. Dejar un espacio amplio alrededor de las fórmulas.
2. Los subíndices y superíndices deberán ser claros.
3. Los caracteres griegos y otros no latinos o símbolos escritos a mano deberán ser explicados e indicar su significado al margen de la página en donde aparecen por primera vez. Tener especial cuidado para mostrar claramente la diferencia entre un cero (0) y el carácter O y entre el 1 y el carácter I.
4. Para indicar fracciones simples, utilizar la diagonal (/) en lugar de una línea horizontal.
5. Enumerar, en paréntesis, las ecuaciones a la derecha. En general, sólo las ecuaciones explícitamente referidas en el texto, necesitan ser numeradas.
6. Se recomienda el uso de fracciones en lugar de signos de raíz.
7. Los niveles de significancia estadística que son mencionados sin más explicación son  $P < 0.05 = *$ ,  $P < 0.01 = **$  y  $P < 0.001 = ***$
8. En las fórmulas químicas, las valencias de los iones deberán indicarse, por ejemplo, como  $\text{Ca}^{2+}$  y no como  $\text{Ca}^{++}$ .

## Pie de página

1. Se recomienda hacer los pies de página a través de un procesador de textos.
2. En caso de utilizarlos, deberán numerarse en el texto, indicando el número como superíndice y que sean tan cortos como sea posible. El tamaño del carácter será de 8 pts.

## **Nomenclatura**

1. Los autores y editores aceptarán las normas de nomenclatura biológica vigente.
2. Todos los seres vivos (cultivos, plantas, insectos, aves, mamíferos, etc.) deberán ser identificados por sus nombres científicos, con excepción del nombre común de animales domésticos.
3. Todos los seres vivos y otros compuestos orgánicos deberán ser identificados por sus nombres genéricos cuando son mencionados por primera vez en el texto. Los ingredientes activos de todas las formulaciones deberán ser igualmente identificadas.

## **Derechos de autor**

1. Cuando el autor cite algún trabajo de otra persona o reproduzca una ilustración o tabla de un libro o artículo de revista debe estar seguro de no estar infringiendo los derechos de autor.
2. Aunque en general un autor puede citar de otro trabajo publicado, debe obtener permiso del poseedor del derecho de autor si se requiere reproducir tablas, placas u otras ilustraciones.
3. El material en trabajos no publicados o protegidos, no podrá ser publicado sin obtener el permiso por parte del poseedor de los derechos.
4. Deberá incluirse un agradecimiento por algún material autorizado para su publicación.

## **Criterios de dictaminación y pruebas del formato del trabajo**

1. Una vez revisado, conforme a las políticas de la revista, cada texto será sometido para su dictamen al menos a dos revisores miembros del Comité Editorial. Para ser publicado cada trabajo deberá contar con dos dictámenes aprobatorios.
2. Si el documento cuenta con observaciones, se regresará el texto para la corrección. Una vez realizadas las correcciones conforme a los

criterios de evaluación del Comité Editorial de la revista, se enviará una prueba de formación al autor correspondiente. Sólo los errores tipográficos serán corregidos; no se harán cambios o adiciones al documento.

*Sociedades Rurales, Producción y Medio Ambiente.*

Revista electrónica

Se terminó de formar en Diciembre de 2018