

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

Silvia Denise Peña Betancourt¹

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.

¹ 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), mono-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 linolénico, 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 mm³ 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 μ 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

	Aflatoxinas totales	Fumonisinias totales
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

	A	A'	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.

	Maíz nativo	P<	Maíz híbrido	P<
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 (A_w 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
- 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.