

Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz

ANDRÉS-MEZA, Pablo*†, VÁZQUEZ-CARRILLO, María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro

Recibido Agosto 15, 2016; Aceptado Septiembre 25, 2016

Resumen

En México, el maíz (*Zea mays* L.) es la principal fuente de energía y proteínas de la población, por ello es indispensable generar variedades de maíz con alto potencial de rendimiento y un mejor perfil de aminoácidos. El objetivo fue determinar las características físicas y calidad de la proteína (ACP) en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz, que se cultivaron en siete ambientes del estado de Veracruz y Guerrero, como testigos se usaron las variedades 'VS-536' de endospermo normal y 'V-537C' de ACP, respectivamente. Se cuantificó el contenido de proteína, lisina y triptófano en grano y endospermo. Se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre variedades (V), ambientes (A) y para la interacción variedades x ambiente (VxA), en calidad proteínica del grano. El contenido de proteína total en las variedades sintéticas varió de 9.8 a 11.5 % en grano y de 7.4 a 8.6 % en endospermo, respectivamente. Los porcentajes de lisina y triptófano en grano entero y endospermo de las variedades ACP variaron de 2.62 a 3.83 y 2.34 a 3.25 g/100 g de proteína. El efecto de la variedad, el ambiente, su interacción y la condición del cultivo afectaron significativamente la calidad del grano.

Zea mays L., variedad sintética, calidad de grano

Abstract

In Mexico, maize (*Zea mays* L.) is the main source of energy and proteins for the population. It is therefore, indispensable to generate corn varieties with a high yield potential and a better amino acid profile. The objective was to determine the physical characteristics, and the quality protein maize (QPM) in 16 synthetic tropical maize varieties. These varieties were grown in seven environments of the states of Veracruz and Guerrero, Mexico; the controls used were normal endosperm 'VS-536' and QPM 'V-537C'. The protein, lysine, and tryptophan content of the kernel and endosperm were quantified. Significant differences ($P \leq 0.01$) were found among varieties (V), environments (E), and the interaction varieties x environment (V x E). Lysine and tryptophan percentages in the kernel and endosperm of varieties QPM ranged from 2.62 to 3.83 and 2.34 to 3.25 g/100 g protein. The effect of the variety, the environment, their interaction and the condition of the crop significantly affected grain quality.

Zea mays L., synthetic variety, humid tropic, kernel quality

Citación: ANDRÉS-MEZA, Pablo, VÁZQUEZ-CARRILLO, María Gricelda, SIERRA-MACÍAS Mauro y ESPINOSA-CALDERÓN, Alejandro. Calidad de grano en variedades sintéticas tropicales de maíz. Revista de Ciencias Naturales y Agropecuarias. 2016, 3-8: 9-16.

*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: pandres272@gmail.com)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) juega un papel importante en la nutrición humana y animal en alrededor de 25 países en vías de desarrollo, particularmente en África y América Latina (Prasanna *et al.*, 2001) y proporciona en promedio 37 y 46% del requerimiento diario de proteína y energía requerida por el cuerpo humano (FAO, 2014). Al igual que otros cereales, el maíz presenta un bajo valor biológico comparado con las proteínas de origen animal, por ello en los núcleos familiares de las zonas rurales de México, para compensar estas limitaciones se acostumbra consumir productos derivados de maíz conjuntamente con frijoles, que ayudan a equilibrar en forma limitada esta deficiencia (Krivanek *et al.*, 2007).

El mejoramiento de maíces con alta calidad de proteína (ACP), se inició con el objetivo de mejorar el valor nutricional de la proteína en el grano de maíz (Krivanek *et al.*, 2007); el enfoque comúnmente usado se basa en manipular la mutación *opaco-2* (*o2*), un gene recesivo que incrementa los niveles de lisina y triptófano en el grano de maíz (Ignjatovic-Micic *et al.*, 2010), sin embargo, la incorporación del gene *o2* dentro de cultivares de alto rendimiento no ha sido comercialmente exitoso, debido a su efecto pleitrópico (endospermo suave, susceptibilidad a plagas de granos almacenados, acame, etc.).

Afortunadamente, éstos problemas han sido corregidos mediante la manipulación de tres sistemas genéticos: a) el alelo recesivo simple del gene *opaco-2*, b) los modificadores del endospermo que contiene el *o2o2*, y que aumentan los niveles de lisina y triptófano y, c) los genes que modifican el endospermo suave y lo transforman en endospermo duro (Vasal, 2000; Vivek *et al.*, 2008).

El termino QPM (Quality Protein Maize o ACP, Alta Calidad Proteínica), se refiere al maíz con mayor contenido de lisina y triptófano y un endospermo relativamente duro, que lo hace resistente a las plagas durante el almacenamiento (Galicia-Flores *et al.*, 2011).

La conversión de diferentes grupos de líneas normales a ACP se inició durante el año 2002 dentro del Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla (CECOT) perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Inicialmente, las líneas fueron cruzadas con la línea CML-144 que actuó como donador del carácter *o2*, las cruces se autofecundaron y las líneas seleccionadas fueron retrocruzadas para recuperar el carácter.

Posterior a este proceso de selección, durante el año 2008, mediante un esquema dialélico se formaron cruces simples para conocer su aptitud combinatoria específica (ACE) y aptitud combinatoria general (ACG) de sus líneas (Andrés-Meza *et al.*, 2011); con las líneas de mayor rendimiento de grano y alta ACG, se integraron 11 sintéticos de maíz (Andrés-Meza *et al.*, 2013), los cuales se han cultivado a través de diferentes localidades en el área tropical del estado de Veracruz y Guerrero.

Bajo este contexto, el objetivo del presente trabajo fue determinar las propiedades físicas y cuantificar los niveles de proteína, lisina y triptófano en grano y endospermo en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz a través de ambientes en el estado de Veracruz y Guerrero, México.

Metodología a desarrollar

Se evaluaron en campo 16 variedades de maíz de las cuales, 11 son nuevas variedades sintéticas experimentales de maíz ‘SINT-1C’ (integrado por 20 líneas), ‘SINT-2C’ (10 líneas), ‘SINT-3C’ (9 líneas), ‘SINT-4C’ (12 líneas), ‘SINT-5C’ (12 líneas), ‘SINT-6C’ (9 líneas), ‘SINT-7C’ (8 líneas), ‘SINT-8C’ (6 líneas), ‘SINT-9C’ (6 líneas), ‘SINT-10C’ (8 líneas) y ‘SINT-11C’ (8 líneas), con diferente nivel de endogamia y seleccionadas por su buen comportamiento *per se* y altos efectos de aptitud combinatoria general (Andrés-Meza *et al.*, 2011); tres sintéticos experimentales seleccionados para tolerancia a sequía ‘SINT-TS6’, ‘SINT-LPSC3’ y ‘SINT-3SC’; y dos variedades comerciales ‘VS-536’ y ‘V-537 C’; la primera obtenida mediante la recombinación genética de nueve líneas endogámicas provenientes de los programas de maíz de Cotaxtla, Ver. Iguala, Gro., Rio Bravo, Tamps., y Ocotlán Jal., y la segunda obtenida mediante la recombinación genética de 10 familias de medios hermanos de la población Poza Rica 8763 (Sierra *et al.*, 1992).

Las variedades se sembraron en siete ambientes durante los años 2012 y 2013; cinco ambientes se establecieron en la zona centro del estado de Veracruz, Ver., y dos ambientes se sembraron en el estado de Iguala, Gro. Las fechas de siembra y cosecha, la condición de siembra y las dosis de fertilización se muestran en el Cuadro 1. La fuente de nitrógeno fue urea y la de fósforo superfosfato de calcio triple. Diez días después de la siembra (dds) se aplicó todo el fósforo y la mitad del nitrógeno; el resto del nitrógeno se aplicó 30 dds. El establecimiento de los ensayos en cada localidad coincidió con el inicio de la temporada de lluvias, excepto en el ciclo otoño-invierno en el que se aplicaron suficientes riegos de auxilio (siete riegos) para que las plantas no sufrieran de estrés hídrico.

La unidad experimental fue de dos surcos de 5 m de largo y 0.8 m de ancho. La siembra se hizo a “tapa pie”, que es la forma tradicional en la región. Se depositaron tres semillas por golpe cada 0.4 m para aclarar a dos plantas (62 500 plantas ha⁻¹).

Cuantificación de nitrógeno, lisina y triptófano

Los análisis químicos se realizaron de marzo a diciembre de 2013 en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Campo Experimental Valle de México perteneciente al INIFAP. Se molieron 25 semillas por cada muestra de maíz, en un molino Tecator Cyclotec 1093 con tamiz de 0.5 mm. La harina obtenida se sometió a un proceso de desengrasado con éter de petróleo en un extractor intermitente Soxhlet, durante seis horas continuas. Posteriormente, se secaron al aire libre para eliminar el excedente de éter de petróleo (Galicia *et al.*, 2009; Galicia *et al.*, 2012).

La cuantificación de nitrógeno se determinó por medio de un Autoanalizador Technicon II (Technicon Autoanalyzer II, #334-74, 1997) con la metodología de Galicia *et al.* (2009). La cantidad de proteína se estimó a partir del valor de nitrógeno; al multiplicar el porcentaje de nitrógeno (N) x 6.25 (factor de conversión para el maíz) (Vivek *et al.*, 2008).

La cuantificación de lisina se determinó por colorimetría descrito por Villegas *et al.* (1984) modificado por Galicia *et al.* (2011), el cual se basa en la reacción del 2-cloro, 3,5-dinitropiridina. La lectura se llevó a cabo en un lector de microplacas (μ Quant (MQX200), BioTek®) para determinar la densidad óptica (DO) a 390 nm. Por último, la cuantificación de triptófano se realizó de acuerdo con el método de Nurit *et al.* (2009) modificado por Galicia *et al.* (2012), el cual se basa en la reacción del ácido glioxílico.

La lectura se llevó a cabo en un espectrofotómetro de placas para determinar la absorbancia a 560 nm.

Análisis estadístico

Los análisis se realizaron por duplicado en harinas libres de humedad y aceite. Todas las variables se analizaron bajo un diseño completamente al azar con tres repeticiones. Los análisis de varianza y las pruebas de comparaciones de medias (Tukey) se hicieron con el paquete estadístico SAS versión 9.0 (SAS Institute, 1990).

Localidad	Localización geográfica ¹	Altitud (m)	Condición de siembra	Fecha de siembra/cosecha	Fertilización (Kg ha ⁻¹ de N-P-K)
Cotaxtla 2012B (COT)	18° 56' LN, 96° 11' LO	18	Temporal	20/06/12-06/11/12	161-46-00
El Sauce 2012B (SAU)	18° 42' LN, 96° 04' LO	19	Temporal	26/07/12-27/11/12	161-46-00
Tepetates 2012B (TEP)	19° 11' LN, 96° 20' LO	18	Temporal	18/07/12-24/11/12	140-70-00
Iguala 2012B (IGU)	17° 52' LN, 99° 09' LO	750	Temporal	25/07/12-25/11/12	90-60-00
Cotaxtla 2013A (COT)	18° 56' LN, 96° 11' LO	18	Riego	21/02/13-12/06/13	161-46-00
Cotaxtla 2013B (COT)	18° 56' LN, 96° 11' LO	18	Temporal	26/07/13-23/11/13	161-46-00
Iguala 2013B (COT)	17° 52' LN, 99° 09' LO	750	Temporal	31/07/13-21/11/13	90-60-00

Tabla 1 Características de siembra de siete ambientes para la evaluación de 16 variedades sintéticas de maíz normal y con alta calidad de proteína. 2012-2013

¹LN = latitud norte; LO = longitud oeste

Resultados

Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.01$) entre variedades (V), ambientes (A) y para la interacción variedades x ambiente (V x A), en calidad del grano (Tabla 2). Diferencias que se deben a la variabilidad genética entre variedades debido a sus características genéticas particulares, al efecto del ambiente y manejo del cultivo. Resultados similares son informados por Vidal *et al.* (2008) para maíces nativos de la Sierra de Nayarit, Coutiño *et al.* (2008) en las variedades 'V-229' y 'V-231A'. Los coeficientes de variación fluctuaron de 2.33 a 20.84, valores que sugieren confiabilidad en los resultados (Castillo, 2007).

Fuente de variación	GL	Proteína ^{††} (%)		Triptófano ^{††} (g/100 g proteína)		Lisina ^{††} (g/100 g proteína)	
		Grano	Endospermo	Grano	Endospermo	Grano	Endospermo
Variedad (V)	15	3.89**	1.98**	0.09**	0.05**	1.38**	0.59**
Ambiente (A)	6	19.79**	14.06**	0.22**	0.31**	10.84**	4.99**
Interacción VXA	90	1.54**	1.37**	0.04**	0.03**	0.90**	0.41**
Error	210	0.06	0.22	0.01	0.01	0.14	0.04
CV (%)		2.33	6.04	3.42	6.54	12.03	7.77

Tabla 2 Cuadrados medios y significancia estadística para rendimiento, características físicas y químicas del grano de 16 variedades sintéticas tropicales de maíz normal y de alta calidad proteínica (ACP). 2012-2013

*, ** Diferente de cero a una probabilidad de 0.05 y 0.01, respectivamente; GL = grados de libertad; CV = coeficiente de variación; ^{††}informados a base seca, en muestras libres de aceite

Contenido de proteína, lisina y triptófano

El contenido de proteína total en las variedades sintéticas varió de 9.8 a 11.5 % en grano y de 7.4 a 8.6 % en endospermo, respectivamente (Tabla 3), que son valores similares a los reportados (9.5 a 11.4 %) por Zepeda-Bautista *et al.* (2009) en 10 híbridos de cruza simple producidos bajo fertirrigación. En la localidad El Sauce 2012B (A2), se presentaron los valores más altos para proteína en grano entero y endospermo; en tanto que, en la localidad Cotaxtla 2012B (A1) se observaron bajos niveles para estas mismas variables (Tabla 4). Al respecto Vázquez *et al.* (2012), mencionan que temperaturas fuera del óptimo producen efectos negativos sobre la fotosíntesis que impide a la planta a producir y translocar metabolitos hacia el fruto.

El contenido promedio de proteína en grano entero, fue mayor comparado con el endospermo; lo anterior, debido a que durante el análisis las partes constituyentes del grano (pico, pericarpio y germen) influyeron en el valor de la proteína total. De acuerdo con Sánchez *et al.* (2007), mencionan que la composición química del germen presenta altas concentraciones de proteína y aceite, que son de excelente calidad biológica y energía calórica.

El promedio de lisina en grano entero y endospermo de las variedades ACP fueron de 3.20 y 2.60 g/100 g de proteína, respectivamente; valores que resultaron estadísticamente similar a la variedad V-537 C con 3.10 y 2.61 g/100 g de proteína, respectivamente (Tabla 3).

Un comportamiento similar reportaron Mendoza-Elos *et al.* (2006) para un grupo de variedades QPM y Vidal *et al.* (2008) en colectas de maíz nativo de Nayarit.

En Cotaxtla 2013A (A5), el grano entero y endospermo de todos los maíces expresaron los niveles más altos de lisina, lo cual se debe a que en este ciclo en particular se manejó bajo riego y la disponibilidad de agua fue mayor.

Variedad	Proteína ^f (%)		Lisina ^f (g/100 g proteína)		Triptófano ^f (g/100 g proteína)	
	Grano	End ^p	grano	End	Grano	End
V1	10.38d	7.36d	3.71a	3.25a	0.74d	0.63b
V2	10.39d	7.79b	3.35a	2.47c	0.69f	0.55e
V3	9.94f	7.39d	3.83a	2.53b	0.92a	0.65b
V4	10.15e	7.79b	3.71a	2.79b	0.74d	0.63b
V5	9.83f	7.83b	3.37a	2.62b	0.81c	0.63b
V6	10.29e	8.55a	3.05c	2.34d	0.72d	0.55d
V7	10.64c	7.42d	2.99c	2.54b	0.67f	0.55d
V8	10.42d	7.35d	3.06c	2.56b	0.70e	0.52g
V9	10.64c	7.60c	2.55d	2.63b	0.80c	0.60c
V10	11.23a	7.74b	3.14b	2.41d	0.68f	0.57d
V11	10.95b	7.60c	2.62d	2.50b	0.66g	0.58d
V12	11.46a	8.34a	2.93c	2.24f	0.66g	0.54f
V13	11.32a	8.26a	3.23a	2.73b	0.68f	0.60b
V14	11.51a	8.2ba	3.03c	2.30e	0.61h	0.54f
V15	10.44d	7.74b	3.10c	2.61b	0.84b	0.76a
V16	10.96b	7.46d	2.81c	2.29e	0.73d	0.63b

Tabla 3 Características químicas del grano en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz normal y de alta calidad proteínica (ACP). 2012-2013

^fMedias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ^pEnd = endospermo; ^finformados a base seca, en muestras libres de aceite; V = variedad; V1 = SINT-1C; V2 = SINT-2C; V3 = SINT-3C; V4 = SINT-4C; V5 = SINT-5C; V6 = SINT-6C; V7 = SINT-7C; V8 = SINT-8C; V9 = SINT-9C; V10 = SINT-10C; V11 = SINT-11C; V12 = SINT-TS6; V13 = SINT-LPSC3; V14 = VS-536; V15 = V-537C; V16= SINT-3SC

En cuanto al contenido de triptófano en grano entero y endospermo, este varió de 0.61 a 0.92 y de 0.52 a 0.76 g/100 g de proteína, respectivamente; particularmente en la variedad SINT-3 (V3) el nivel de triptófano en grano entero, resultó estadísticamente superior a la variedad testigo V-537C (V15) con 0.92 y 0.84 g/100 g proteína, respectivamente; en tanto que, el contenido de triptófano en endospermo resultó de 0.65 y 0.76 g/100 g de proteína, respectivamente.

Al respecto, la localidad de Iguala durante el año 2012B (A7) presentó bajos niveles de este aminoácido; mientras que para el año 2013B, presentó los niveles más altos. Lo anterior infiere fuertes variaciones climáticas que afectaron positivamente el contenido de triptófano.

Ambiente	Proteína ^f (%)		Triptófano ^f (g/100 g proteína)		Lisina ^f (g/100 g proteína)	
	Grano	Endospermo	Grano	Endospermo	Grano	Endospermo
A1	9.75f	7.22d	0.71c	0.57d	3.00b	2.78b
A2	11.95a	8.60a	0.62e	0.53e	2.93b	2.20c
A3	10.93c	8.12bc	0.67d	0.56d	3.00b	2.05d
A4	9.95e	7.15d	0.67d	0.63c	2.67c	2.78b
A5	10.31d	8.43ab	0.79b	0.46f	4.17a	2.94a
A6	10.40d	6.96d	0.81a	0.67b	-	-
A7	11.33b	7.96c	0.83a	0.76a	-	-

Tabla 4 Influencia del ambiente sobre las características químicas del grano en 16 variedades sintéticas tropicales de maíz normal y de alta calidad proteínica (ACP). 2012-2013

^fMedias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ^finformados a base seca, en muestras libres de aceite; A = ambiente; A1 = Cotaxtla 2012B; A2 = El Sauce 2012B; A3 = Tepetates 2012B; A4 = Iguala 2012B; A5 = Cotaxtla 2013a; A6 = Cotaxtla 2013B; A7 = Iguala 2013B

Conclusiones

El efecto de la variedad, el ambiente, su interacción y la condición del cultivo afectaron significativamente la calidad del grano. El contenido promedio de proteína en grano entero, fue mayor comparado con el endospermo.

En la localidad El Sauce 2012B (A2), se presentaron los valores más altos para proteína en grano entero y endospermo; en tanto que, en la localidad Cotaxtla 2012B (A1) se observaron bajos niveles para estas mismas variables.

El régimen hídrico afectó las concentraciones de lisina en grano entero y endospermo.

Es necesario realizar los análisis de calidad en endospermo, ya que ofrece mayor información sobre la variación presente de proteínas, y no confiar solamente en los análisis del grano entero.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Calidad de Maíz del Campo Experimental Valle de México y al Campo Experimental Cotaxtla dependiente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

Referencias

Andrés-Meza P, López-Collado CJ, Sierra-Macías M, López-Romero G, Leyva-Ovalle OR, Palafox-Caballero A, Rodríguez-Montalvo FA. Combining ability in maize lines using a diallel cross. *Trop. Subtrop. Agroecosystems*. 2011; 13: 525-532.

Andrés-Meza P, Sierra-Macías M, Palafox-Caballero A, Rodríguez-Montalvo FA, Espinosa CA. Líneas de maíz convertidas al carácter de alta calidad de proteína. *Universidad y Ciencia*. 2013; 29(3): 317-323.

Billeb SAC, Bressani R. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2001; 51: 86-94.

Bressani R. Opaque 2 corn in human nutrition and utilization. *In: Quality protein maize. 1964-1994. Proceedings of the international symposium on quality protein maize.* (eds Larkins, B. A and Mertz, E. T.) EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. 1994; p: 41-63.

Castillo MLE. Introducción al SAS para Windows. Universidad Autónoma Chapingo. México, DF. 2007.

Coutiño EB, Vázquez CMG, Torres MB, Salinas M. Calidad de grano, tortilla y botanas de dos variedades de maíz de la raza Comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* 2008; 31(Núm. Esp. 3): 9-14.

FAO. Food and Agriculture Organization/World Health Organization. Rome, Italy. 2014.

Galicia L, Miranda A, Gutiérrez MG, Custodio O, Rosales A, Ruiz N, Surles R, Palacios N. Laboratorio de calidad nutricional de maíz y análisis de tejido vegetal: protocolos de laboratorio 2012. CIMMYT. Mexico, DF. 2012.

Galicia L, Nurit E, Rosales A, Palacios-Rojas N. Laboratory protocols 2009: Maize nutrition Quality and plant tissue analysis laboratory. CIMMYT. Mexico, DF. 2009.

Galicia-Flores, L.; Islas-Caballero, C.; Rosales-Nolasco, A. y Palacio-Rojas, N. Método económico y eficiente para la cuantificación colorimétrica de lisina en grano de maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana* 2011; 34: 285-289.

Gutiérrez RA, Scott MP, Leyva OOR, Menz M, Betrán J. Phenotypic Characterization of quality protein maize endosperm modification and amino acids contents in a segregating recombinant inbred population. *Crop Sci.* 2008; 48: 1714-1722.

Ignjatovic-Micic D, Stankovic G, Markovic K, Mladenovic-Drinic S, Lazic-Jancic V, Denic M. Kernel modifications and tryptophan content in QPM segregating generation. *Genetika.* 2010; 42(2): 267-278.

Krivanek AF, De Groote H, Gunaratna NS, Diallo AO, Friesen D. Breeding and disseminating Quality protein Maize (QPM) for Africa. *African Journal of Biotechnology.* 2007; 6(4): 312-324.

Melesio CJL, Preciado ORE, Terrón IAD, Vázquez CMG, Herrera MP, Amaya GA, Serna SSO. Potencial productivo, propiedades físicas y valor nutrimental de híbridos de maíz de alta calidad proteínica. *Agric. Téc. Méx.* 34(2): 225-233.

Mendoza-Elos M, Andrio-Enríquez E, Juárez-Goiz JM, Mosqueda-Villagómez C, Latournerie-Moreno L, Castañón-Nájera G, López-Benítez A, Moreno-Martínez E. Contenido de lisina y triptófano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia.* 2006; 22: 153-161.

Morales GM. Efecto del consumo de maíz de alta calidad proteínica en niño(a)s de familias indígenas de las regiones Mazateca y Mixe del Estado de Oaxaca: Una estrategia agronómica de desarrollo entre campesinos que practican agricultura de subsistencia. (Tesis Doctoral) Montecillo, Texcoco, Edo. de Mexico. Colegio de Postgraduados. 2002.

Nurit E, Tiessen A, Pixley K, Palacios-Rojas N. Reliable and inexpensive colorimetric method for determining protein-bound tryptophan in maize kernels. *J. Agri. Food Chem.* 2009; 57: 7233-7238.

Nuss ET, Tanumihardjo SA. Quality protein maize: closing the protein inadequacy gap in vulnerable populations. *Advances in Nutrition.* 2011; 2(3): 217-224.

Ortega EI, Villegas E, Vasal SK. A comparative study of protein changes in normal and Quality protein maize during tortilla making. *Cereal Quemistry.* 1986; 63(5): 446-451.

Poey DFR. El mejoramiento integral del maíz: valor nutritivo y rendimiento; hipótesis y métodos. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México, DF. 1978.

Prasanna BM, Vasa SK, Kassahun B, Singh NN. Quality protein maize. *Current Science.* 2001; 81(10): 1308-1319.

Salinas MY, Gómez MNO, Cervantes MJE, Sierra MM, Palafox CA, Betanzos ME, Coutiño EB. Calidad nixtamalera y tortillera en maíces del trópico húmedo y sub-húmedo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas.* 2010; 1(4): 509-523.

Salinas MY, Vázquez CMG. Metodologías de análisis de la calidad Nixtamalera-Tortillera en maíz. INIFAP. Campo Experimental Valle de México. Folleto Técnico Núm. 23. México, D.F. 2006.

Sánchez FC, Salinas MY, Vázquez CMG, Aguilar GNGA. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 2007; 57(3): 295-301.

SAS Institute Inc. SAS, Version 9.1. Cary, NC 27513, USA. SAS Institute, Inc. 1990.

Sierra MM, Rodríguez M FA, Castillo GRA, Preciado ORE, Márquez SF. VS-536 Variedad Sintética de Maíz para el Trópico de Veracruz y Regiones Similares. INIFAP. Campo Experimental Cotaxtla. Folleto Técnico Núm. 2. Veracruz, México. 1992.

Vasal SK. Quality Protein Maize Story. Proceedings of the Workshop on Improving Human Nutrition through Agriculture: The Role of International Agricultural Research (IHNA'00), IRRI. 2000.

Vázquez CMG, Mejía AH, Tut Couoch C, Gómez MN. Características de granos y tortillas de maíces de alta calidad proteínica desarrollados para los Valles Altos Centrales de México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2012a; 35(1): 23-31.

Vázquez CMG, Santiago RD, Salinas MY, Rojas MI, Arellano VJL, Velázquez CGA, Espinosa CA. Interacción genotipo-ambiente del rendimiento y calidad de grano y tortilla de híbridos de maíz en Valles Altos de Tlaxcala, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2012b; 35(3): 229-237.

Vidal, V. A., M.; Vázquez, G. C.; Coutiño, B. E.; Ortega, A. C.; Ramírez, J. L. D.; Valdivia, R. B.; Guerrero, M. J. H.; Caro, F. J. V. y Cota, O. A. Calidad proteínica en colectas de maíces criollos de la sierra de Nayarit, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 2008; 31(Núm. Especial 3): 15-21.

Villegas E, Ortega E, Bauer R. Chemical Methods used at CIMMYT for Determining Protein Quality in Cereal Grains. CIMMYT. El Batán, Mexico, DF. 1984.

Vivek BS, Krivanek AF, Palacios-Rojas N, Twumasi-Afriyie S, Diallo AO. Breeding quality protein maize (QPM): Protocols for developing QPM cultivars. CIMMYT. México, DF. 2008.

Zarkadas CG, Hamilton RI, Yu ZR, Choi VK, Khanizadeh S, Rose NGW, Pattison PL. Assessment of the protein Quality of 15 new northern adapted cultivars of Quality protein maize using amino acids analysis. J Agric Food Chem. 2000; 48: 5351-5361.

Zepeda-Bautista R, Carballo-Carballo A, Muñoz-Orozco A, Mejía-Contreras JA, Figueroa-Sandoval B, González-Cossio FV, Hernández-Aguilar C. Proteína, triptófano y componentes estructurales del grano en híbridos de maíz (*Zea mays* L.) producidos bajo fertirrigación. Agrociencia. 2009; 43(2): 143-152.