

Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal

Components of variance of maize traits associated to nixtamal

JOSÉ SALAZAR-MARTÍNEZ^{1,5}, AURELIO GUEVARA-ESCOBAR², GUADALUPE MALDA-BARRERA²,
CÉSAR HUMBERTO RIVERA-FIGUEROA³ Y YOLANDA SALINAS-MORENO⁴

Recibido: Mayo 4, 2009

Aceptado: Agosto 29, 2009

Resumen

Los componentes de varianza y la heredabilidad de características de grano blanco, relacionadas con la calidad industrial de la harina nixtamalizada, fueron estimadas en cinco híbridos de maíz (*Zea mays* L.) del tipo "media altura". El objetivo del trabajo fue conocer los componentes de varianza, la heredabilidad y la correlación de características de grano blanco asociadas con la calidad industrial del nixtamal de híbridos de maíz. Durante el ciclo Verano 2003, se estableció el experimento bajo condiciones de riego en tres localidades representativas de la región El Bajío. Se evaluaron nueve características físicas de grano y siete asociadas al proceso de "nixtamalización". Se identificaron cinco rasgos de interés para la industria del nixtamal: Peso o masa hectolítrica (densidad de grano) y peso de 100 granos, asociados al rendimiento de grano a tortilla; endospermo tipos harinoso y córneo, relacionados con la calidad de la tortilla; pericarpio retenido, asociado al rendimiento de grano a tortilla. La variable pericarpio retenido mostró una heredabilidad alta ($h^2 > 0.50$), mientras que los caracteres peso hectolítrico, peso de cien granos, endospermo harinoso y endospermo córneo presentaron baja heredabilidad ($h^2 < 0.50$). De acuerdo a los resultados observados en esta investigación, se recomienda seleccionar grano de maíz con valores de endospermo (porcentaje base seca del grano) de tipo harinoso menor de 36.4 %, tipo duro o córneo mayor de 46.4 %; además, el pericarpio retenido debería ser mayor de 35.8 %.

Palabras clave: Componentes de varianza, heredabilidad, coeficiente de variación genética, calidad de nixtamal, pericarpio retenido

Abstract

Components of variance and heritability of white grain characteristics, related to industrial quality of nixtamalized corn flour, were estimated in five maize hybrids (*Zea mays* L.) type "media altura". The objective of this study was to know components of variance, heritability and correlation coefficients among grain traits associated to nixtamal quality of white grain maize hybrid. During the Summer-2003 season, an experiment was established under irrigation conditions in three locations representative of the agriculture region "El Bajío". Nine physical characteristics of grain and seven more traits associated to corn "nixtamalización" industrial process were evaluated. Five important characteristics for "nixtamal" industry were identified: Hectoliter weight (grain density) and weight of 100 grains, associated to yield of grain to tortilla; endosperm corn types flour and hard, related to tortilla quality; retained pericarp, associated to yield of grain to tortilla. The variable retained pericarp showed a high heritability ($h^2 > 0.50$), while for the characteristics: Hectoliter weight, weight of 100 grains, endosperm types flour and hard were the estimated heritability values were lower than 0.50. According to the observed results, it is recommendable to select endosperm corn values (percentage based on grain dry weight) type flour below 36.4 %, type hard greater than 46.4 %; moreover, the retained pericarp should be above 35.8 %.

Keywords: Components of variance, heritability, genetic variation coefficient, nixtamal quality, retained pericarp

¹ Estudiante del Programa de Doctorado, Facultad de Ciencias Naturales-Biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario s/n. Cerro de las Campanas. Querétaro, México. C. P. 76010. Teléfono: (442)192-1200, extensión 5371.

² Profesor de la Facultad de Ciencias Naturales-Biología. Universidad Autónoma de Querétaro. Centro Universitario s/n. Cerro de las Campanas. Querétaro, México. C. P. 76010. Teléfono: (442)192-1200, extensión 5371.

³ Jefe del Departamento de Investigación, Dirección de Investigación y Posgrado. Universidad Autónoma de Chihuahua. Campus Universitario # 1, Chihuahua, Chihuahua. México. C. P. 31170. Teléfono: (614) 439-1822. FAX: (614) 439-1823.

⁴ Laboratorio de Calidad de Maíz, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Campo Experimental "Valle de México". Apartado postal 10, Chapingo, Estado de México. México. C. P. 56230.

⁵ Dirección electrónica del autor de correspondencia: mu_technology@yahoo.com.mx.

Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) representa uno de los cereales de mayor importancia para la alimentación de la población latinoamericana; en México es el cultivo más importante y la principal fuente de alimentos. Rosa *et al.* (2006) comentan que la producción anual es de 18.2 millones de toneladas de maíz en una superficie de 8.5 millones de hectáreas, y que los híbridos de grano blanco representan 95 % del total de híbridos, destinados principalmente para consumo humano.

México posee la mayor diversidad genética de maíz, la cual se manifiesta en variación de caracteres morfológicos vegetativos, así como de espiga, mazorca y grano, y en la composición química del grano, de las 436 razas reportadas en el continente americano, 50 se encuentran en México (Goodman y Brown, 1988). La mayor diversidad de razas, y variedades del maíz que se concentran en México, han formado parte del germoplasma con el que se han desarrollado variedades de alto rendimiento y adaptabilidad, así como la producción de híbridos para zonas de riego (Sánchez y Goodman, 1992).

La mayor parte de la producción de grano proveniente de híbridos, se destina principalmente a la industria, mientras que el grano proveniente de las variedades criollas se destina principalmente al autoconsumo. La mayor superficie sembrada con híbridos de maíz y variedades mejoradas se localiza en la Región del Pacífico (clima tropical), representada principalmente por Sinaloa y El Bajío (clima templado), principalmente en los estados de Jalisco, Guanajuato y Querétaro (SFAB–Canacinttra, 2002).

En cuanto a la cantidad y formas de consumo de grano de maíz, en México, por ejemplo, existe una gran diversidad de productos nixtamalizados, que forman parte de la alimentación de la población, como tortilla, pinole, atole, tostada, tamal y elote; de éstos, la tortilla constituye el principal producto, cuyo consumo *per cápita* es de 328 g por día (Figueroa *et al.*, 2001). Para mejorar la calidad industrial del grano de maíz es necesario el análisis de los parámetros físicos y químicos

del grano, porque están estrechamente asociados con el proceso de elaboración de productos nixtamalizados (Salinas y Arellano, 1989). Un análisis del proceso de nixtamalización y del producto terminado, se enfoca en características como: pericarpio retenido, humedad del nixtamal, pérdida de sólidos, rendimiento de grano a masa y a tortilla, color de la masa y color de la tortilla.

Dado que el ambiente, el genotipo, y la interacción entre ambos factores tienen influencia sobre las características de calidad del grano, es fundamental aprovechar la variabilidad genética disponible para elevar el rendimiento, mejorar la calidad de grano y eficientizar el proceso de nixtamalización (Ehdaie y Waines, 1989). Araújo *et al.* (2008) comentan que poco se conoce acerca de la heredabilidad de las características físicas y químicas del grano de maíz que se correlacionan con la calidad industrial del nixtamal, y menos aún sobre el grado de influencia que el ambiente ejerce sobre ellas. Arnhold, *et al.* (2006) estudiaron varios caracteres funcionales en maíz palomero, encontrando una correlación positiva entre capacidad de expansión del grano y producción.

El conocimiento de la heredabilidad de tales características de grano y de sus correlaciones puede ser útil en un programa de mejoramiento genético, mediante la selección simultánea de dos o más rasgos y un manejo óptimo del ambiente de cultivo (Espitia-Rangel *et al.*, 2004). El presente trabajo tiene como objetivo conocer los componentes de varianza, la heredabilidad y la correlación de características de grano blanco asociadas con la calidad industrial del nixtamal de híbridos de maíz.

Materiales y métodos

Establecimiento del experimento. Durante el ciclo primavera-verano de 2003, se comparó el comportamiento de cinco híbridos comerciales de maíz de grano blanco, del tipo denominado «media altura». Estos híbridos (Cuadro 1) son parcialmente representativos de la variabilidad genética de la empresa Monsanto; modelo de «efecto fijo», dicha empresa es líder en mejoramiento genético de maíz y en la producción y comercialización de semilla híbrida, con un participación de mercado en México del 65 %. Para evaluar el efecto del medio ambiente, se sembró en tres localidades: Pedro Escobedo (Querétaro), La Barca (Jalisco) y Ciudad Guzmán (Jalisco); ubicadas en El Bajío. Las condiciones de siembra se apegaron al programa de evaluación de híbridos de riego de la compañía Monsanto.

Cuadro 1. Características agronómicas de los híbridos de maíz de cruz triple

Nombre del híbrido	Días a floración		Altura (cm)		Mazorcas Promedio (%)	Tipo de grano
	Masculina	Femenina	Planta	Mazorca		
León	83	85	268	115	95-105	Dentado
DK 2002	86	88	253	117	95-105	Dentado
Puma	83	84	228	115	95-105	Dentado
Tigre	82	84	252	112	95-105	Dentado
DK 2000	73	76	243	85	95-105	Dentado

Fuente: Datos proporcionados por el Dr. Manuel Oyervides de Monsanto Company

Diseño experimental. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar en localidades (diseño combinado), en un arreglo de tratamientos factorial 3 (ambientes) x 5 (genotipos), con dos repeticiones por tratamiento. El factor A consistió en las tres localidades, mientras que el factor B estuvo representado por los cinco híbridos comerciales. La parcela experimental consistió en cuatro surcos de 6 m de largo, espaciados 100 cm y con una separación entre plantas de 12.5 cm, lo que representa una densidad de población de

aproximadamente 80,000 plantas por hectárea, un número de plantas ampliamente utilizado en El Bajío mexicano. Para la recolección de muestras de grano y la toma de datos, se eligió como unidad de muestreo a los dos surcos centrales, sin incluir las plantas de los extremos, para reducir el efecto de orilla, la muestra de grano al 14 % de humedad fue de 1.0 kg.

Toma de datos y variables. Las determinaciones y análisis de las características de calidad del grano se realizaron en el Laboratorio de Calidad de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Texcoco, Estado de México.

Caracterización física del grano. *Índice de Flotación (IF).* Número de granos flotantes (N_f) de un total de 100, colocados en una solución de nitrato de sodio ($IF = N_f/100$) a una densidad de 1.25 g ml^{-1} (Salinas *et al.*, 1992). *Peso hectolítrico (PH)* o peso específico, se expresa como el peso (kg) de un volumen de 100 l (hl) de grano de maíz (kg hl^{-1}); para su medición se tomó como base el método 14-40, recomendado por la American Association of Cereal Chemists (1976). *Peso de 100 granos de maíz (PCG)*, medido en g con balanza semianalítica Sartorius modelo BL610 en una muestra de 100 granos extraídos al azar de la población. *Color de grano (CG)*, expresado como la reflectancia (%) medida con un colorímetro tipo Agtron 500-A, a la longitud de onda de 546 nm (al color verde). Componentes anatómicos del grano o bien fracción del grano expresada como porcentaje, con respecto al peso seco de la muestra de grano, compuesta por el pico (Pi), pericarpio (Pe), germen (Ge), almidón harinoso (AH) y almidón córneo (AC). Tales características fueron registradas de acuerdo con las recomendaciones de González (1995). Todos los análisis de laboratorio fueron realizados por duplicado.

Proceso de nixtamalización. Se realizó en muestras de 100 g de grano, utilizando 1 % de cal comercial (nixtacal) y 200 ml de agua

destilada. Los granos de maíz y los solventes se mezclaron en un vaso de precipitados de 600 ml, calentó en una parrilla para nixtamalización hasta alcanzar el punto de ebullición. El tiempo de cocción fue asignado de acuerdo con la dureza del grano; medida por el índice de flotación (Salinas y Arellano, 1989). Después de la cocción, las muestras se dejaron en reposo a temperatura ambiente por un periodo de 14-16 horas, posteriormente se enjuagó el nixtamal y se colocó en un molino de piedras para obtener la masa.

Las tortillas se moldearon en una prensa manual y se cocieron sobre una plancha metálica. Una vez cocidas, las tortillas se enfriaron a temperatura ambiente durante 30 min., tapadas con una manta de algodón. Después se empacaron en bloques de 20 tortillas por tratamiento, se colocaron en bolsas de polietileno tipo Ziploc, se envolvieron en una manta para evitar pérdidas de humedad y se almacenaron a $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ (ambiente).

Caracteres de nixtamalización. Las características asociadas al proceso de nixtamalización aquí determinadas (Salinas y Arellano, 1989) fueron: *Humedad del nixtamal (HN)*, expresada como porcentaje de agua por 100 g de nixtamal. *Pérdida de sólidos (PS)*, estimada a partir del peso seco de los residuos de la nixtamalización y lavado, y expresada en porcentaje con respecto al peso total del grano en base seca. *Pericarpio retenido (PR)*, después de pesar el pericarpio del grano y de hacer la nixtamalización, se enjuagó el nixtamal y se cuantificó el pericarpio retenido al grano, cuyo valor se expresó como porcentaje respecto al pericarpio presente en el grano crudo, es decir, el porcentaje de pericarpio remanente. *Color de la masa (CM)*, *color de la tortilla (CT)* *color del grano (CG)*, fueron medidas como reflectancia (%) y con el colorímetro Agtron 500-A a una longitud de onda de 546 nm. *Rendimiento de grano: masa (RGM)* y *rendimiento de grano: tortilla (RGT)* se determinaron a partir de una muestra de 100 g de grano nixtamalizado, y los productos

correspondientes fueron expresados como porcentajes con respecto a 1 kg de grano.

Modelo estadístico. Se utilizó el método de Espita-Rangel *et al.* (2004) para realizar el análisis estadístico de las variables seleccionadas. Previo al análisis estadístico, los datos de las variables expresadas en porcentaje se transformaron a su valor logarítmico para cumplir así con el supuesto de normalidad. La prueba de Tukey se usó para realizar las comparaciones múltiples de medias y la obtención de los grupos de significancia, con $\alpha = 0.05$ (nivel de significancia del 5 %).

Para la estimación de componentes de varianza, los factores ambiente y genotipo fueron considerados como efectos aleatorios. Las varianzas se calcularon a partir de las esperanzas de cuadrados medios (ECM) del análisis combinado, según se indica en el Cuadro 2. Para el cálculo de los componentes de la varianza fenotípica, se utilizaron los cuadrados medios de genotipos (CM_G), interacción GxA (CM_{GxA}) y del error (CM_e).

Cuadro 2. Análisis de varianza y esperanzas de cuadrados medios (ECM) de genotipos (híbridos) de maíz y ambientes (localidades) para un modelo aleatorio.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	ECM
Repeticiones (R)	$a(r - 1)$	CM_R	
Ambientes (A)	$(a - 1)$	CM_A	
Genotipos (G)	$(g - 1)$	CM_G	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GxA}^2 + ra\sigma_G^2$
G x A	$(g - 1)(a - 1)$	CM_{GxA}	$\sigma_e^2 + r\sigma_{GxA}^2$
Error (e)	$a(g - 1)(a - 1)$	CM_e	σ_e^2

$$\sigma_e^2 = CM_e; \sigma_{GxA}^2 = (CM_{GxA} - CM_e)/r; \sigma_G^2 = (CM_G - CM_{GxA})/ra;$$

$$\sigma_F^2 = \text{Varianza fenotípica} = \sigma_G^2 + \sigma_{GxA}^2 + \sigma_e^2$$

El coeficiente de variación genética [CVG_(%)] de cada variable fue estimado como el valor que resulta al dividir la desviación estándar genética (σ_G) por la media genotípica (μ_G), esta última estimada a partir del promedio de los híbridos, y dicho cociente fue multiplicado por 100 para expresarse en porcentaje. Este parámetro permite comparar la variación

genética de las características; para facilitar su interpretación, los valores se agruparon bajo las categorías siguientes: *Alto* (CVG > 20 %), *medio* (CVG = 10-20 %) y *bajo* (CVG < 10 %).

La heredabilidad (H^2) se obtuvo como el cociente que resulta al dividir la varianza genética estimada (σ^2_G) por la varianza fenotípica (σ^2_F): $H^2 = \sigma^2_G / \sigma^2_F$.

Para el cálculo de las correlaciones parciales (correlaciones Pearson), se utilizó el paquete estadístico Minitab (2003). También se estimaron las correlaciones genéticas entre caracteres físicos del grano y de nixtamalización.

estudiar la calidad industrial de trigos encontraron diferencias significativas ($p < 0.01$) en todas las características de grano analizadas, en respuesta a los factores genotipo, ambiente e interacción genotipo x ambiente.

En la Figura 1 se presenta la contribución relativa de cada componente de la varianza, la variación total, para nueve caracteres físicos del grano. El componente genotipo (híbridos) fue el más importante para los caracteres de grano: CG, AH, Ge y AC, cuyos valores aproximados fueron 60, 49, 44 y 40 %, respectivamente; el factor ambiente fue el componente de mayor importancia en las variables: Pe, Pi, IF, PH y PCG, y cuyos valores respectivos fueron: 55, 57, 68,

Cuadro 3. Cuadrados medios, significancia estadística y coeficientes de variación (CV) de 16 caracteres de grano y calidad industrial de híbridos de maíz (Primavera-Verano 2003).

Caracteres de grano	CMR	CMA	CMG	CMGxA	CMe	CV (%)
Peso hectolítrico (PH)	3.030	18.830*	5.290	3.680	3.670	2.1
Índice de flotación (IF)	0.000	1079.00*	280.00*	204.00*	24.000	22.5
Color de grano (CG)	0.900	148.000	606.00*	170.00	84.000	12.2
Peso 100 granos (PCG)	0.200	71.400*	6.900	10.600*	2.200	4.3
Pico (Pi)	0.000	0.071*	0.032*	0.017	0.004	7.1
Pericarpio (Pe)	0.007	1.395*	0.755*	0.363*	0.009	1.8
Germen (Ge)	0.030	2.290*	2.750*	0.970	0.260	4.7
Almidón harinoso (AH)	2.200	9.800	34.200	9.800	29.000	14.8
Almidón córneo (AC)	0.700	0.800	39.200	9.100	30.500	11.9
Pericarpio retenido (PR)	0.700	101.200	69.400	30.000	36.400	16.8
Humedad nixtamal (HN)	0.040	4.000*	17.500*	2.200	0.300	1.4
Pérdida de sólidos (PS)	0.050	0.480*	1.520*	0.440	0.110	10.1
Rendimiento grano:masa (RGM)	0.000	0.018	0.035	0.011	0.013	5.9
Color masa (CM)	0.000	244.600*	36.900	39.800	16.400	5.3
Rendimiento grano:tortilla (RGT)	0.000	0.002	0.016	0.004	0.009	6.5
Color tortilla (CT)	0.700	216.600*	62.300*	42.600*	8.700	3.8

(*) Significativo al 5 % ($\alpha = 0.05$)

Resultados y discusión

El análisis de varianza combinado mostró diferencias significativas entre genotipos para las características de grano: IF, CG, Pi, Pe, Ge, HN, PS y CT; el factor ambiente tuvo efecto significativo sobre los caracteres de grano: PH, IF, PCG, Pi, Pe, Ge, HN, PS, CM y CT; y la interacción genotipo x ambiente (G x A) resultó significativa en las variables: IF, PCG, Pe y CT (Cuadro 3). Espitia-Rangel *et al.*, (2004), al

55 y 78 %. Los resultados observados en este trabajo no coinciden con los reportados por Pomeraz *et al.* (1985) y Bergman *et al.* (1998), quienes mencionan al genotipo como la principal fuente de variación en la textura de grano, que es una propiedad física. La interacción genotipo x ambiente fue la tercera en magnitud para todas las variables, excepto para AH y AC donde la variación atribuible al error mostró valores de 38.0 y 34.1 %.

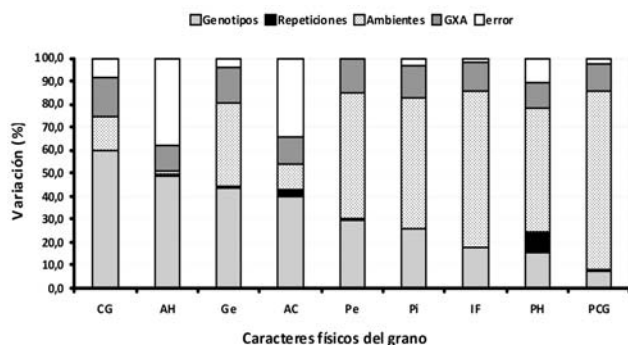


Figura 1. Proporción de la suma de cuadrados del total atribuible a diversas fuentes de variación de cinco genotipos y tres ambientes (primavera-verano, 2003)

En el caso de los caracteres de grano nixtamalizado (HN, PS, RGT y RGM) el principal componente de varianza fue atribuible al factor genotipo, con valores aproximados de 73, 59, 52 y 46 %, respectivamente (Figura 2). El componente ambiente tuvo su mayor contribución en los caracteres PR, CT y CM, con valores respectivos de 43, 66 y 72 %; estos resultados concuerdan con investigaciones realizadas en trigo, acerca de características asociadas con la calidad (Peterson *et al.*, 1992; Garybosch *et al.*, 1996; y Espitia-Rangel *et al.*, 1999). La variación debida a la interacción genotipo x ambiente fue importante en la característica PS (17 %), en tanto que en la variable RGT, el componente de varianza atribuible al error fue la más alta (29 %).

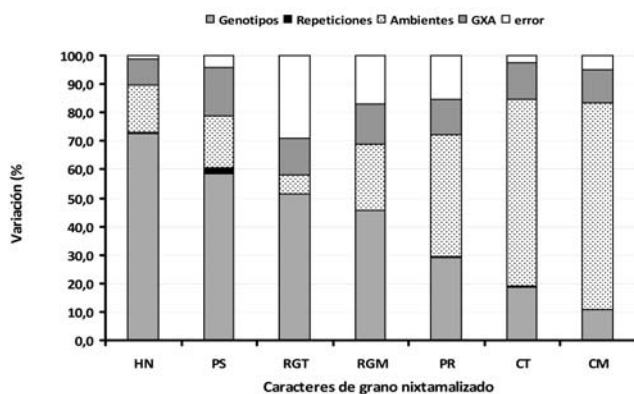


Figura 2. Variación (%) de caracteres de grano nixtamalizado atribuible a diversas fuentes de variación (primavera-verano, 2003).

Las características de grano: IF, PS y CG exhibieron los coeficientes de variación genética

más altos, con valores de 76.7, 37.1 y 33.0 %; por el contrario, los caracteres PH, PCG y CM mostraron los más bajos de CVG, con valores de 2.9, 7.5 y 7.9 %, respectivamente (Cuadro 4). Esto sugiere que los caracteres de grano nixtamalizado poseen una reducida variación genética.

El mayor rango (diferencia entre los valores máximo y mínimo) corresponde a las características IF, CG y PR, cuyos valores respectivos fueron 53, 34.6 y 24.8; esta amplitud del CG fue muy superior a la reportada por Sánchez *et al.* (2007), con un valor de 3.0 observado en maíces normales y de alta calidad de proteína. Esto sugiere la posibilidad de aplicar selección para reducir la amplia variabilidad en el color del grano. Los caracteres: Pi, Pe, Ge, AH y AC mostraron un coeficiente de variación intermedio y un rango muy bajo. Estos resultados también sugieren que estos caracteres de grano nixtamalizado poseen una reducida variación genética.

Las heredabilidades (Cuadro 4) fueron superiores a 0.5 en la mayoría de las características de grano analizadas, y sus valores en orden decreciente fueron: HN (0.77), PS (0.73), CG (0.70), Ge (0.69), Pe (0.67), Pi (0.60), RGM (0.60), IF (0.55), RGT (0.55), CT (0.55) y PR (0.51); lo que sugiere que estos caracteres pueden ser mejorados más fácilmente que los demás, porque la variación observada es principalmente de naturaleza genética. En contraste, AC, AH, PCG y CM tuvieron heredabilidades menores a 0.50, lo que indica que la respuesta esperada a la selección sería comparativamente más baja, probablemente porque en este grupo de variables existe una mayor influencia de la interacción genotipo x ambiente. Normalmente los fitomejoradores seleccionan plantas que producen mazorcas grandes y de mayor peso de grano, para incrementar el rendimiento por hectárea; en algunos estudios han sido reportados valores de heredabilidad altos para peso de grano, PCG y PH, muy similares a los observados en este trabajo (Navarro *et al.*, 1992).

Cuadro 4. Coeficiente de variación genética (CVG), media y heredabilidad (H²) de 16 caracteres de grano y calidad industrial de híbridos de maíz (Primavera – Verano 2003).

Caracteres de grano	CVG (%)	Media	Máximo	Mínimo	H ²
Peso hectolítrico (PH)	2.9	78.1	84.3	74.3	0.45
Índice de flotación (IF)	76.7	21.7	55.0	2.0	0.55
Color de grano (CG)	33.0	74.7	96.9	62.0	0.70
Peso 100 granos (PCG)	7.5	35.0	41.3	29.2	0.24
Pico (Pi)	19.2	0.93	1.11	0.63	0.60
Pericarpio (Pe)	16.4	5.3	6.4	3.9	0.67
Germen (Ge)	15.3	10.9	12.7	9.1	0.69
Almidón harinoso (AH)	16.1	36.4	45.2	29.6	0.47
Almidón córneo (AC)	13.5	46.4	53.7	37.7	0.49
Pericarpio retenido (PR)	23.3	35.8	47.0	22.2	0.51
Humedad nixtamal (HN)	9.7	43.1	47.7	40.2	0.77
Pérdida de sólidos (PS)	37.1	3.3	4.5	2.2	0.73
Rendimiento grano:masa (RGM)	9.8	1.89	2.05	1.61	0.60
Color masa (CM)	7.9	77.1	84.0	67.0	0.18
Rendimiento grano:tortilla (RGT)	8.6	1.49	1.63	1.31	0.55
Color tortilla (CT)	10.0	78.7	91.0	69.0	0.55

En cuanto a las correlaciones entre los caracteres de nixtamalización y los caracteres físicos del grano, la variable PR presenta una correlación negativa significativa con Pe (-0.384) que indica que al aumentar el valor de Pe, disminuye el PR en el grano nixtamalizado (Cuadro 5). Por el contrario, la variable Pe mostró una correlación positiva con el carácter HN (0.200), que se explica por el alto contenido

de fibra presente en el Pe y que permite una mayor absorción de agua (González *et al.*, 2004). La PS mostró una correlación positiva significativa con las características de grano PH, Pe, y AC y una correlación negativa con IF y AH; estos últimos dos caracteres están relacionados directamente con la suavidad del grano, lo que indica que a mayor dureza del grano, aumenta la pérdida de sólidos (Sahai *et al.* 2000).

Cuadro 5. Correlaciones entre caracteres físicos y calidad industrial de grano nixtamalizado de híbridos comerciales de maíz (Primavera – Verano 2003).

Caracteres físicos de grano de maíz	Caracteres de grano nixtamalizado						
	PR	HN	PS	RGM	CM	RGT	CT
Peso hectolítrico (PH)	-0.121	-0.151	-0.386*	-0.207*	-0.110	-0.247*	0.097
Índice de flotación (IF)	0.010	0.069	-0.350*	0.126	0.086	0.127	-0.095
Color de grano (CG)	-0.158	0.104	-0.160	0.001	-0.033	0.134	0.019
Peso 100 granos (PCG)	-0.124	-0.112	0.084	-0.340*	-0.401*	-0.176	-0.187
Pico (Pi)	0.166	-0.164	0.185	0.120	0.284*	-0.037	0.293*
Pericarpio (Pe)	-0.384*	0.200	0.614*	0.013	0.006	-0.128	0.148
Germen (Ge)	0.045	0.003	-0.041	-0.002	0.089	-0.029	0.041
Almidón harinoso (AH)	0.003	0.127	-0.292*	-0.012	-0.255*	0.178	-0.341*
Almidón córneo (AC)	0.042	-0.157	0.218*	0.006	0.252*	-0.168	0.321*

(*) Significativo al 5 % ($\alpha = 0.05$)

Se encontraron correlaciones negativas significativas entre RGM y las características PH y PCG; la variable RGT también presentó una correlación negativa con PH, Billeb y Bressani (2001) encontraron que la «uniformidad» de la densidad y tamaño del grano es fundamental para una mayor eficiencia en la transformación de grano a tortilla. La situación anterior plantea un dilema para el mejorador de plantas, cuyo objetivo es seleccionar plantas con mayor peso de grano (Navarro *et al.*, 1992). Se encontró una correlación negativa significativa entre CM y las características PCG y AH; además, mostró correlación positiva significativa con las variables Pi y AC, la cual tiene un valor para el fitomejorador con una correlación de 0.614; la más alta del experimento. Es de llamar la atención que no haya una correlación significativa entre CG versus CM y CT, esto indica que el color del grano no está relacionado

de fibra que favorece una mayor absorción de agua (González *et al.*, 2004), Arámbula-Villa *et al.* (2001) encontraron que la humedad del nixtamal óptima para producir tortillas es de 42 a 44 %. Se encontró una correlación positiva significativa entre HN y los caracteres de grano nixtamalizado PS y RGM. PS y RGM exhibieron una correlación positiva. Del mismo modo RGM está positivamente correlacionada con CM, RGT y CT; CM con RGT y CT.

Criterios de selección para calidad. La respuesta a la selección depende de la variación genética disponible, de la heredabilidad de las características de grano y de la asociación del carácter a mejorar con las variables de interés para la industria del nixtamal.

Los híbridos de maíz blanco comparados en el presente estudio poseen una limitada variabilidad genética (< 10 %) para los caracteres PH y PCG cuya heredabilidad es

Cuadro 6. Correlaciones entre caracteres de grano nixtamalizado de híbridos comerciales de maíz (Primavera – Verano 2003).

Caracteres de grano nixtamalizado	Caracteres de grano nixtamalizado					
	HN	PS	RGM	CM	RGT	CT
Pericarpio retenido (PR)	0.444*	-0.351	0.564*	0.364*	0.483*	0.100
Humedad nixtamal (HN)		0.471*	0.563*	-0.118	0.198	-0.083
Pérdida de sólidos (PS)			0.499*	-0.184	0.313	0.241
Rendimiento grano:masa (RGM)				0.430*	0.725*	0.400*
Color masa (CM)					0.371*	0.634*
Rendimiento grano:tortilla (RGT)						0.356

(*) Significativo al 5 % ($\alpha = 0.05$)

con el color de la masa y el color de la tortilla, Salinas-Moreno (2007) descubrieron que los compuestos fenolicos en el endospermo del grano de maíz favorecen el oscurecimiento de la masa y la tortilla.

En el Cuadro 6 se presentan las correlaciones de Pearson para los caracteres de nixtamalización. El PR presentó una correlación positiva significativa con las variables: HN, RGM, CM y RGT. Anteriormente se mencionó que el Pe posee un alto contenido

baja; 0.45 y 0.24 respectivamente. Por ello es deseable introducir genotipos de mayor variabilidad para estos caracteres, y seleccionar híbridos cuyos valores de PH sean menores de 78.1 kg HI⁻¹ y PCG menores de 35 g (Secretaría de Economía, 2001). La variabilidad genética y la heredabilidad para HA y AC presentaron valores intermedios (10 a 20 %), por lo que es posible utilizar estos caracteres como criterios de selección, buscando valores de AH menores de 36.4 % y

AC mayores de 46.4 % (Gruma, 2008). Dado que la variabilidad genética y la heredabilidad del carácter PR presentaron valores altos; 23 % y 0.51 respectivamente, es posible utilizarlo como un criterio de selección, procurando que la media del híbrido sea superior a 35.8 % (Billeb y Brezan, 2001).

Es factible las empresas semilleras manejen un programa de mejoramiento alterno, trabajando de manera simultánea rendimiento agrícola y funcionalidad industrial de los híbridos, Vásquez-Carrillo *et al.* (2003) desarrollaron un programa de mejoramiento genético de materiales criollos mediante retrocruza limitada; logrando mejorar el rendimiento agrícola y modificando los caracteres físicos del grano para lograr una mayor calidad de nixtamalización.

Conclusiones

El componente genotipo fue la principal causa de variación para los caracteres físicos de grano color de grano, almidón harinoso, germen y almidón córneo; así como también para las variables de nixtamalización: humedad del nixtamal, pérdida de sólidos, rendimiento grano tortilla y rendimiento grano masa.

El factor ambiente fue el componente más importante para las características físicas: pericarpio, pico, índice de flotación, peso hectolítrico y peso de cien granos; que contribuyen también significativamente con los caracteres de nixtamalización: pericarpio retenido, color de la tortilla y color de la masa.


En la interacción genotipo x ambiente, ninguna variable de respuesta presentó una contribución significativa.

El coeficiente de variabilidad genética fue alto en los caracteres: índice de flotación, color del grano, pericarpio retenido y pérdida de sólidos; y en la mayoría de ellos la heredabilidad fue alta.

Los valores de correlación significativa fueron bajos, lo que indica que otros factores afectan los caracteres de interés.

Literatura citada

- AMERICAN ASSOCIATION OF CEREAL CHEMISTS. 1976. Approved methods of the AACC. The Association 7th. Edition. St. Paul MN.
- ARÁMBULA-VILLA, G., *et al.*, 2001. Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mays* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturas de grano, masa y tortillas de maíz. *Arch. Latinoam. Nutrición*. 51(2): 187-194.
- ARAÚJO, M., *et al.*, 2008. Heredabilidad de la sobrevivencia en 169 familias de maíz-roseta de granos blancos: Un enfoque Bayesiano. *Cien. Inv. Agr.* 35(3): 303-309.
- ARNHOLD, E., *et al.*, 2006. Correlaciones genéticas en familias S4 de maíz (*Zea mays* L.) *Cien. Inv. Agr.* 33(2): 125-131.
- BERGMAN C., D. Gualberto, K. Campbell, M. Sorrels, and P. Finney. 1998. Genotype and environment effects on wheat quality traits in a population derived from a soft by hard cross. *Cereal Chem.* 75: 729-737.
- BILLEB A., S. y R. Bressani. 2001. Características de cocción por nixtamalización de once variedades de maíz. *Arch. Latinoam. Nutrición* 51: 81-94.
- EHDAIE B. and J. Wainnes. 1989. Genetic variation, heritability and path analysis in landraces bread wheat from southwestern Iran. *Euphytica*. 41: 183-190.
- ESPITIA-RANGEL, E., P. Beanziger, R. Graybosch, D. Shelton, and B. Moreno-Sevilla. 1999. Agronomic performance and stability of 1A vs 1AL.1RS genotypes derived from the winter wheat «Nekota». *Crop Sci.* 39: 643-648.
- ESPITIA-RANGEL, E., H. Villaseñor-Mir, R. Peña-Bautista, J. Huerta-Espino y A. Limón-Ortega. 2004. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. II. Variabilidad genética y criterios de selección. *Rev. Fitotec. Mex.* 27: 41-47.
- FIGUEROA C., J., M. Acero G., N. Vasco M., A. Lozano G., M. Flores A. y J. González H. 2001. Fortificación y evaluación de tortillas de nixtamal. *Arch. Latinoam. Nutrición* 51: 329-302.
- GONZÁLEZ, R., E. Reguera, L. Mendoza, J. Figueroa, and F. Sánchez. 2004. Physicochemical changes in the hull of corn grains during their alkaline cooking. *J. Agric. Food Chem.* 52: 3831-3837.
- GONZÁLEZ, A. U. 1995. El maíz y su conservación. México. 399 p.
- GOODMAN M and L Brown. 1988. Taces of corn. In: G F Sprague, J W Dudley (eds). Corn and corn Improvement. ASA Monograph 18 ASA, Madison, Wisconsin. pp: 33-79-
- GRAYBOSCH, R., C. Peterson, D. Shelton, and P. Beanziger. 1996. Genotypic an environmental modification of wheat flour protein composition in relation to end-use quality. *Crop Sci.* 36: 296-300.
- GRUMA 2008. Comunicación personal por Luis Rolón, gerente agrícola del departamento de abastecimientos MASECA.
- MINITAB Inc. 2003. MINITAB (User's Guide) Version 14.
- NAVARRO, F., W. Youngquis, y W. Compton. 1992. Estimación de varianzas genéticas en maíz a partir de líneas S1 y S2. *Agronomía Mesoamericana*. 3:9-5.
- NORMA MEXICANA PARA MAÍCES DESTINADOS AL PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN. NMX-FF-034-2002-SCFI-PARTE-1. 2002. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano-cereales-maíz blanco para proceso alcalino para tortillas de maíz y productos de maíz nixtamalizado – especificaciones y métodos de prueba. Especificaciones y Métodos de Prueba. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Dirección General de Normas. México, D. F. 18p.
- PETERSON, J., R. Graybosch, P. Beanziger, and A. Grombacher. 1992. Genotype an environment effects on quality characteristics of hard red winter wheat. *Crop Sci.* 32: 98-103.

- POMERANZ, J., C. Peterson, and P. Mattern. 1985. Hardness of winter wheats grown under widely different climatic conditions. *Cereal Chem.* 62: 463-467.
- ROSA L., A., H. de León C., F. Rincón S. y G. Martínez Z. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados a El Bajío mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 18: 243-254.
- SAHAI, D., I. Surjewan, J. Mua, M. Buendía, M. Rowe and D. Jackson. 2000. Dry matter loss during nixtamalization of a white corn hybrid: Impact of processing parameters. *Cereal Chem.* 77: 254-258.
- SALINAS M. Y., y J. L. Arellano V. 1989. Calidad nixtamalera y tortillera de híbridos de maíz con diferente tipo de endospermo. *Rev. Fitotec. Méx.* 12: 129-135.
- SALINAS M. Y., J. L. Arellano V., y F. Martínez B. 1992. Propiedades físicas, químicas y correlaciones de maíces híbridos precoces para Valles Altos. *Arch. Lat. Nutrición* 42: 161-167.
- SALINAS-MORENO, Y., *et al.*, 2007. Componentes fenólicos de grano de maíz y su relación con el oscurecimiento de masa y tortilla. *Agrociencia* 41: 295-305.
- SÁNCHEZ, F., Y. Salinas, C. Vázquez, G. Velázquez, y N. Aguilar. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 57: 295-301.
- SÁNCHEZ, J. y M. Goodman. 1992. Relationships among the Mexican races of maize. *Economic Botany*, 46(1): 72-85.
- SECCIÓN DE FABRICANTES DE ALIMENTOS BALANCEADOS (SFAB) – Canacintra. 2002. La industria alimenticia animal en México (Anuario)
- VÁSQUEZ-CARRILLO, M. G., *et al.*, 2003. Calidad de grano y tortillas de maíces criollos y sus retrocruzas. *Rev. Fitotec. Mex.* 26(4): 231-238. 

Este artículo es citado así:

Salazar-Martínez J., A. Guevara-Escobar, G. Malda-Barrera, C. H. Rivera-Figueroa y Y. Salinas-Moreno. 2009: *Componentes de varianza de caracteres de maíz asociados al nixtamal*. *TECNOCENCIA Chihuahua* 3(2): 74-83.

Resúmenes curriculares de autor y coautores

JOSÉ SALAZAR MARTÍNEZ. Ingeniero Agrónomo Zootecnista (1985) por el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) Campus Monterrey. Realizó su posgrado en Monterrey México, donde obtuvo el grado Maestro en Ciencias con especialidad en Uso y Manejo de los Recursos Agua y Suelo en 1989 otorgado por el ITESM. Actualmente es candidato a Doctor en Ciencias en el área de Recursos Bióticos por la Universidad Autónoma de Querétaro. De 1989 a la fecha a trabajado en Investigación y Desarrollo en diversas empresas del ramo agroindustrial como Vitro, Monsanto y MARS, desarrollando proyectos agrícolas, ganaderos y agroindustriales con enfoque en Sustentabilidad. Su área de especialización es Biotecnología Agroecológica.

AURELIO GUEVARA ESCOBAR. Terminó su licenciatura en 1987, año en que le fue otorgado el título de Médico Veterinario Zootecnista por la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (FMVZ) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Realizó su posgrado en Cuba, donde obtuvo el grado de Especialidad en Producción Lechera Tropical en 1990 otorgado por el Ministerio de Agricultura, con mención honorífica el grado de Maestro en Producción Animal en el área de Nutrición por la FMVZ de la UNAM en 1995 y el grado de Doctor en Filosofía en el área de Ciencia Vegetal en 1999 por la Universidad de Massey en Nueva Zelanda. Fue Director del Centro de Enseñanza Investigación y Extensión en Agricultura y Ganadería del Altiplano de la FMVZ de la UNAM de 1992 a 1995. Desde 1999 labora en la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) y posee la categoría de Profesor nivel VII. Es líder del Cuerpo Académico Consolidado Biología y Aprovechamiento de la Flora y Microorganismos de la UAQ (2007-2009). Ha sido miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1999 (candidato 1999-2004; Nivel 1 2006-2009; 2009-2012). Su área de especialización es agroforestería y relaciones hídricas. Ha dirigido 8 tesis de licenciatura, 3 de maestría y 1 de doctorado. Es primer autor en 11 artículos científicos, más de 30 ponencias en congresos, y desde 1999 ha dirigido 6 proyectos de investigación financiados por fuentes externas. Es evaluador de proyectos de investigación del CONACYT (Fondos mixtos, sectoriales y del Programa Nacional de Posgrados de Calidad).

GUADALUPE MALDA BARRERA. Bióloga egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana -Iztapalapa. Estudió el Doctorado en Botánica, en Arizona State University. Actualmente es Profesora-investigadora de la Universidad Autónoma de Querétaro, y su línea de investigación abarca la propagación, análisis de crecimiento y manejo in vitro de especies nativas, incluyendo cultivo in vitro e inoculaciones con micorrizas nativas. Como docente imparte cátedras en relación a la fisiología vegetal y la biología de plantas en zonas áridas, así como el cultivo in vitro y in vivo; tanto a nivel de la Licenciatura en Biología como en el Posgrado en Recursos Bióticos. Es directora de 3 tesis de doctorado, 2 de maestría y 6 de licenciatura. Tiene 10 publicaciones indexadas y 3 capítulos de libros. Ha sido responsable de 12 proyectos de investigación financiados por diferentes instituciones.

CÉSAR HUMBERTO RIVERA FIGUEROA. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACH-1972). Llevó a cabo estudios de Maestría en Ciencias con especialidad en Genética en el Colegio de Posgraduados de la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo, México, y obtuvo el grado en el año de 1977. También obtuvo el grado de Maestro en Ciencias con especialidad en Horticultura por la Universidad de Nuevo México, EUA., en 1991, y el Doctorado en Ciencias Biológicas y Estadística por la misma universidad en 1998. Actualmente es jefe del Departamento de Investigación de la Universidad Autónoma de Chihuahua, y catedrático en la Facultad de Ciencias Agrotecnológicas de la misma institución. Es autor de varios artículos científicos, proyectos, memorias y ponencias en congresos. Sus líneas de investigación se enfocan en: Genética, Fisiología, Nutrición, Estadística y Desarrollo Humano.

YOLANDA SALINAS MORENO. Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma Chapingo (1985) y estudios de Maestría y Doctorado en Fisiología Vegetal en el Colegio de Posgraduados. Labora en el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias desde 1986 a la fecha, actualmente con la categoría de Investigador Titular "C". Ha escrito y publicado cerca de 40 artículos científicos en revistas nacionales e internacionales de reconocido prestigio. Ha dirigido tesis de Licenciatura (22), Maestría (3) y participado como asesor en algunas de Doctorado. Su área de interés es la calidad de los cereales para su aprovechamiento industrial, principalmente maíz, y el estudio de metabolitos secundarios como ácidos fenólicos y flavonoides, así como las actividades biológicas asociadas a estos compuestos. Es miembro del Sistema Nacional de investigadores desde 1992 a la fecha, actualmente con la categoría de Investigador Nacional Nivel II.