

## H-564C, HÍBRIDO DE MAÍZ CON ALTA CALIDAD DE PROTEÍNA PARA EL TRÓPICO HÚMEDO DE MÉXICO\*

### H-564C, HIGH QUALITY PROTEIN MAIZE HYBRID FOR THE HUMID TROPIC IN MEXICO

**Mauro Sierra Macías<sup>1§</sup>, Artemio Palafox Caballero<sup>1</sup>, Flavio Rodríguez Montalvo<sup>1</sup>, Alejandro Espinosa Calderón<sup>2</sup>, Gricelda Vázquez Carrillo<sup>2</sup>, Noel Gómez Montiel<sup>3</sup> y Sabel Barrón Freyre<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Campo Experimental Cotaxtla. INIFAP. Carretera Veracruz-Córdoba, km 34. Veracruz, México. A. P. 429. C. P. 91700. Tel. 01 285 5960108. (palafox.artemio@inifap.gob.mx), (rodriguez.flavio@inifap.gob.mx). <sup>2</sup>Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Carretera Los Reyes-Textcoco, km 13.5. Coatlinchán, Texcoco, Estado de México. C. P. 56250. Tel. 01 595 9212738. Ext. 201 y 199. (espinosa.alejandro@inifap.gob.mx), (vazquez.gricelda@inifap.gob.mx). <sup>3</sup>Campo experimental Iguala. INIFAP. Carretera Iguala-Tuxpan, km 2. Iguala, Guerrero. C. P. 40000. Tel. 01 733 3321056. (gomez.noel@inifap.gob.mx). <sup>4</sup>Campo Experimental Huimanguillo. INIFAP. Carretera Huimanguillo-Cardenas, km 1. Huimanguillo, Tabasco. C. P. 86400. Tel. 01 917 3750397. (barron.sabel@inifap.gob.mx). <sup>§</sup>Autor para correspondencia: sierra.mauro@inifap.gob.mx, mauro\_s55@hotmail.com.

#### RESUMEN

Durante 2005 a 2008 se evaluaron, validaron y caracterizaron híbridos de maíz con alta calidad proteínica, con los objetivos de conocer su rendimiento, características agronómicas y propiedades nutricionales e industriales. En 2005 se evaluaron híbridos en las localidades de Cotaxtla, Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, Veracruz; bajo un diseño alpha látice 9\*2 con 18 tratamientos y tres repeticiones, en parcelas de dos surcos de 5 m con una densidad de 62 500 plantas ha<sup>-1</sup>. Se identificaron los híbridos HQ1, HQ2, HQ3 y HQ4, sobresalientes por su rendimiento, características agronómicas y por su tolerancia a la enfermedad del “achaparramiento”. En el ciclo primavera verano 2006 se establecieron seis parcelas de validación en las localidades de Cotaxtla, Mata de Agua, Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave, Martínez de la Torre y Rodríguez Clara, en el estado de Veracruz. Los lotes fueron establecidos bajo diseño bloques al azar con nueve tratamientos y dos repeticiones en parcelas de ocho surcos de 25 m, con una densidad de 62 500 plantas ha<sup>-1</sup>. De los análisis de varianza combinados, se encontró diferencia altamente significativa para genotipos (G), localidades (L) y para la interacción G\*L, en las variables

#### ABSTRACT

Between 2005 and 2008 high-quality protein maize hybrids were evaluated, validated and characterized in order to know their yield, agricultural characteristics and nutritional and industrial features. In 2005, hybrids were evaluated in Cotaxtla, Tlalixcoyan and Ignacio de la Llave, Veracruz, under an alpha lattice 9\*2 design with 18 treatments and three repetitions, in fields with two five-meter long furrows, with a density of 62 500 plants ha<sup>-1</sup>. Hybrids HQ1, HQ2, HQ3 and HQ4, were identified; they stand out for their yield, agricultural characteristics and their tolerance to corn stunt. In the 2006 spring-summer cycle, six validation fields were set in Cotaxtla, Mata de Agua, Tlalixcoyan, Ignacio de la Llave, Martínez de la Torre and Rodríguez Clara, in the state of Veracruz. The fields were established with a random block design with nine treatments and two repetitions in fields with eight 25-meter long furrows, and a density of 62 500 plants ha<sup>-1</sup>. With the combined variance analysis, a highly significant difference was found for genotypes (G), locations (L) and the interaction

rendimiento de grano, días a floración masculina y femenina, aspecto y sanidad de planta. Los genotipos sobresalientes por su rendimiento, aspecto y sanidad de planta y mazorca, fueron: HQ4, H-520, HQ3 y HQ1, con 5.42, 5.38, 5.13 y 5.06 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Con el HQ1 se produjeron las mejores tortillas siguiendo el método tradicional de la masa y la tortilla. El híbrido HQ4, puede ser procesado exitosamente por la industria de la harina nixtamalizada. Este híbrido registró 72% más lisina y 56% más triptófano en el grano entero que el maíz normal. Durante 2007 y 2008 se hizo la caracterización del HQ4, para su registro oficial como H-564C con el número: 2257-MAZ-1133-300609/C.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., calidad de proteína, harinización, nixtamalización, nutrición.

## INTRODUCCIÓN

En el sureste de México se siembran anualmente 2.5 millones de hectáreas con maíz, de éstas, un millón están comprendidas en provincias agronómicas de buena y muy buena productividad y 100 mil hectáreas son sembradas bajo condiciones de riego, (Sierra *et al.*, 2004). En esta superficie se recomienda la siembra de híbridos, ya que estos expresan al máximo su potencial genético bajo condiciones de clima, suelo y manejo por parte de los agricultores (Gómez, 1986; Sierra *et al.*, 1992; Vasal *et al.*, 1992a; Vasal *et al.*, 1992b; Sierra *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2004a). En la selección de mejores híbridos se debe tener en cuenta la adaptabilidad de los genotipos, porque permite conocer la respuesta a los diferentes ambientes, definidos por el clima, suelo y manejo agronómico.

Los híbridos trilineales permiten aprovechar las ventajas que ofrece la heterosis en la producción comercial de maíz y aprovechar las ventajas en la producción de semilla, al usar como progenitor hembra una cruz simple de alto rendimiento (Espinosa *et al.*, 1998; Espinosa *et al.*, 2003; Sierra *et al.*, 2005). Con relación a la selección de líneas progenitoras de híbridos comerciales, es necesario identificar aquellas sobresalientes con base en sus efectos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE), su comportamiento *per se*, su adaptación y producción de semilla (González *et al.*, 1990; Vasal *et al.*, 1994; Vasal y Córdova 1996; Espinosa *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 1998).

G\*L, in grain yield variables, days to male and female, aspect and plant health. The genotypes that stood out for their yield, aspect and plant and ear health were HQ4, H-520, HQ3 and HQ1, with 5.42, 5.38, 5.13 y 5.06 t ha<sup>-1</sup>, respectively. The HQ1 produced the best tortillas with the traditional method for dough and tortillas. Hybrid HQ4 can be successfully processed by the nixtamalized flour industry. This hybrid registered 72% more lysine and 56% more tryptophan in the whole grain than regular maize. In 2007 and 2008, HQ4 was defined for its official registration as H-564C with the number 2257-MAZ-1133-300609/C.

**Key words:** *Zea mays* L., flourization, nixtamalization, nutrition, protein quality.

## INTRODUCTION

In southeastern Mexico, 2.5 million hectares of maize are planted every year, out of which a million are found in agricultural provinces with good and very good productivity, and 100 thousand are planted under irrigation conditions, (Sierra *et al.*, 2004). This surface is recommended for the plantation of hybrids, since they express their genetic potential under conditions of weather, soil and handling by farmers (Gómez, 1986; Sierra *et al.*, 1992; Vasal *et al.*, 1992a; Vasal *et al.*, 1992b; Sierra *et al.*, 2001; Sierra *et al.*, 2004; Sierra *et al.*, 2004a). In the selection of better hybrids, the adaptability of genotypes must be taken into account, since it helps know the response to the different environments, defined by weather, soil and agricultural management.

By using the female parent in a simple high-yield cross, trilineal hybrids offer the advantages of heterosis in the production of commercial maize as well as seed production. (Espinosa *et al.*, 1998; Espinosa *et al.*, 2003; Sierra *et al.*, 2005). Outstanding parental lines of commercial hybrids are identified based on their general and specific combining ability (GCA and SCA respectively) as well as their behavior, adaptation and seed production (González *et al.*, 1990; Vasal *et al.*, 1994; Vasal and Córdova 1996; Espinosa *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 1998).

En México 31 millones de personas manifiestan algún grado de desnutrición y 18 millones sufren desnutrición severa (Espinosa *et al.*, 2006; Chávez y Chávez, 2004), siendo el sureste mexicano donde se concentra la mayor parte de esta población. Esto en parte, se debe que el maíz consumible contiene bajo nivel de lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para el crecimiento y desarrollo humano; lo cual se traduce en bajo nivel nutritivo de la dieta basada en maíz, lo que es grave ya que el consumo *per cápita* aparente es de 209.8 kg (Morris y López, 2000).

Dado que el maíz es fundamental en la alimentación de los mexicanos, una alternativa es incrementar el consumo o bien mejorar la calidad del maíz que se consume, lo que es factible con los maíces de calidad proteínica (QPM). Un aspecto adicional al problema nutricional basado en el grano de maíz, es que la producción de maíz en México, no es suficiente para abastecer la demanda, por lo que es necesario cubrir con importaciones que van de 5 a 7 millones de toneladas año con año.

Particularmente, se consumen en México 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla, de los cuales 64% es a través del método tradicional maíz-masa-tortilla y 36% es a través de la industria de la harinización (SIAP-SAGARPA, 2004). El consumo generalizado de los maíces de alta calidad de proteína puede mejorar el nivel nutricional en México, de manera especial en niños(as), mujeres lactantes y ancianos; sin embargo, para lograr su uso extensivo, se requiere además de la indispensable demostración de superioridad productiva de grano, la participación de actores sociales de distintos niveles de decisión, así como la coordinación de varias instituciones para apoyar este programa (Espinosa *et al.*, 2006).

El maíz con alta calidad de proteína se deriva del aprovechamiento del gene mutante opaco o2o2, expresado en su versión homocigótica recesiva con mayor contenido de lisina y triptófano, aminoácidos esenciales en la alimentación (Mertz *et al.*, 1964). Sin embargo, al alto valor nutritivo se ligaban caracteres indeseables como grano con textura suave, bajo peso y poca resistencia a plagas y enfermedades en almacén. Por su parte, Vasal y Villegas (2001), mediante técnicas de mejoramiento tradicionales incorporaron genes especiales al maíz opaco o2o2, llamados genes modificadores de la textura del endospermo. Estos genes modificadores confieren al endospermo de variedades, líneas e híbridos una textura de grano más dura que el maíz opaco, dando la apariencia

In Mexico, an estimated 31 million people experience some degree of malnutrition and 18 million suffer from severe malnutrition (Espinosa *et al.*, 2006; Chávez y Chávez, 2004), the majority of which live in southeastern Mexico. In this region, maize is a basic staple of the diet (with a *per cápita* consumption of 209.8 kg), yet the varieties used for consumption are low on lysine and tryptophan, which are essential nutrients for human growth and development. These factors contribute to the malnutrition levels seen in the region (Morris and López, 2000).

Given the importance of maize in the Mexican diet, other alternatives are to either increase the level of consumption or to improve the quality of corn being consumed through Quality Protein Maize (QPM). In addition, maize production in Mexico does not meet demand, which is then covered by imports ranging from 5 to 7 million tons every year.

Mexico consumes 12.3 million tons of maize specifically for the production of tortillas. Traditional maize-flour-tortilla method uses 64% of this maize and the remaining 36% used by the milling industries (SIAP-SAGARPA, 2004). Generalizing consumption of high quality protein maize in Mexico can improve nutritional levels, especially in children, lactating women and the elderly. However, achieving this requires demonstrated superior grain production, the participation of social actors from different decision levels and coordination between various institutions to support the program (Espinosa *et al.*, 2006).

Quality protein maize is derived from the use of the mutant form of the opaque o2o2 gene, expressed in its homozygote recessive form, which has higher lysine and tryptophan contents, which are essential aminoacids in food (Mertz *et al.*, 1964). However, the resulting high nutritional value was linked to other undesirable characteristics such as a soft kernel, low weight and low resistance to plagues and diseases. Using traditional improvement techniques, Vasal and Villegas (2001) incorporated special genes to the opaque o2o2 maize variety which modified the texture of the endosperm. These genetic modifiers affect varieties, lines and hybrids by giving the endoplasm a harder texture, similar to that of normal maize (Vasal, 1994). Larkins *et al.* (1994) indicated that maize varieties with the o2o2 gene contain 40-50% more lysine and 35-40% more tryptophan.

del maíz normal (Vasal, 1994). Larkins *et al.* (1994) indicaron que los maíces con el gene *o2o2* contienen 40 a 50% más lisina y de 35 a 40% más triptófano.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) en colaboración con el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), ha generado el híbrido trilineal de maíz H-564C, con alta calidad de proteína, el cual se adapta a la región tropical en el sureste mexicano, con ventajas agronómicas y mejor rendimiento con respecto a los testigos, factores que representan una alternativa favorable para incrementar los rendimientos de maíz y mejorar la nutrición de los consumidores (Sierra *et al.*, 2008).

### Proceso de obtención del híbrido de maíz H-564C

Entre 2004 y 2007 fueron evaluados híbridos trilineales de maíz con alta calidad de proteína, de ahí se definió como sobresaliente el híbrido H-564C, el cual fue propuesto para su liberación oficial por sus ventajas en rendimiento, características agronómicas favorables, tolerancia a la enfermedad del “achaparramiento”, calidad de proteína en virtud de que posee mayor contenido de lisina y triptófano que el maíz normal. Éste híbrido está formado por las líneas LT158, LT159 y LT160, las dos primeras que en su origen fueron líneas normales mismas que fueron convertidas al carácter de alta calidad de proteína, forman la cruce simple que participa como progenitor hembra, la cual por sus características agronómicas, sanidad, alto rendimiento y estabilidad se puede emplear en el Trópico Húmedo de México.

La línea macho LT160 cuenta con ocho autofecundaciones, buena ACG, fue derivada de la población 62 proveniente del CIMMYT. La línea LT158, es una línea endogámica con cinco autofecundaciones derivada de la población 21 proveniente del CIMMYT; LT159 es una línea endogámica con similar nivel de endogamia derivada de la población 43 proveniente del CIMMYT. Estos progenitores ofrecen ventajas en su mantenimiento y para la producción comercial de semilla por parte de las empresas y grupos de productores lo que permite la factibilidad real de uso por los agricultores.

En los años 2007 y 2008, el híbrido H-564C y sus progenitores fueron caracterizados de acuerdo con la guía técnica para la descripción varietal de maíz (*Zea mays* L.), propuesta por la unión internacional para la protección de las obtenciones vegetales (UPOV). Este híbrido fue

The Mexican National Institute for Research in Forestry, Agriculture and Livestock (INIFAP) in collaboration with the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT), has generated an H-564C maize trilineal hybrid, with high quality protein that adapts to the tropical region of southeast Mexico. This variety has agricultural advantages and improved yield compared to controls, which make it a viable option to improve maize yield and consumer's nutrition (Sierra *et al.*, 2008).

### Obtaining H-564C hybrid maize

Between 2004 and 2007, many high quality protein, trilinear maize hybrids were evaluated based on yield, agronomic characteristics as well as nutritional and industrial features. H-564 hybrid was determined to be outstanding due to its advantages in yield, agronomic characteristics, tolerance to corn stunt, improved protein quality as it has higher lysine and tryptophan content compared to regular maize. This maize is a hybrid of the LT158, LT159 and LT160 lines. The first two (originally normal lines and later converted to high quality protein types) form a simple cross that functions as the female parent and can be used in the Humid Tropics of Mexico due to its agronomic characteristics, health, high yield and stability.

The male LT160 line is self-fertilized eight times, good CGA and was derived from CIMMYT's population 62; LT158 is an endogamous line with five self-sterilizations derived from CIMMYT's population 21; LT159 is another similar endogamous line derived from CIMMYT's population 43. These parental lines have advantages with regards to maintenance and commercial production by companies and groups of producers, making its use among farmers a real possibility.

In 2007 and 2008, the H-564 hybrid and its parental lines were characterized according to the technical guidelines for the description of maize varieties (*Zea mays* L.) proposed by the International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV). This variety was registered by the INIFAP in the National Catalog of Vegetable Varieties (CNVV), formerly, the catalog of feasible varieties for certification (CVC), in presence of the National Seed Inspection and Certification Service (SNICS) with registration number 2257-MAZ-1133-300609 (SNICS, 2002).

registrado e inscrito por el INIFAP en el catálogo de variedades factibles de certificación (CVC), ahora catálogo nacional de variedades vegetales (CNVV) ante el servicio nacional de inspección y certificación de semillas (SNICS), con el número de registro 2257-MAZ-1133-300609/C, (SNICS, 2002).

Con relación a la calidad industrial y nutricional, durante 2007 se evaluaron los híbridos de grano blanco: H-564C, HQ-1, HQ-3 y la variedad de grano amarillo V-556AC, genotipos de maíz con alta calidad de proteína, en los que se determinaron características físicas, químicas, del nixtamal, la masa y las tortillas, así como los aminoácidos lisina y triptófano, en endospermo, grano entero y tortillas, siguiendo las metodologías de la American Association of Cereal Chemists AACC (1998), Association of Official Analytical Chemists AOAC (1984), las descritas en la norma mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización, NMX-034(1) (2002) y las declaradas por Salinas y Vázquez (2006).

Por lo que se refiere a la calidad de la harina nixtamalizada, ésta consistió en identificar los maíces cuyo índice de flotación fue menor o igual a 20%, color del grano con valores de reflectancia superiores al 55% en el equipo Agron; posteriormente se evaluó color en harinas de grano sin procesar, cuyos valores deben ser iguales o mayores a 77%. El color se midió en grano entero y en tortilla, usando el colorímetro Mini Scan XE plus (Hunter Lab, modelo 45/0-L), que descompone el color en tres variables:  $L^*$  que representa la luminosidad y cuyos valores van del 100, que corresponde al blanco, hasta cero para el negro; la escala  $a^*$  que registra valores positivos cuando están presentes los tonos rojos y adquiere valores negativos cuando registra tonos verdes. La variable  $b^*$  califica los colores amarillos (+) a azul (-). Con las variables  $a^*$  y  $b^*$  se calculó el ángulo del tono hue o tinte ( $\text{hue} = \arctan a/b$ ), que es un valor angular, el cual indica el cuadrante correspondiente al color de la muestra en un sistema cartesiano, donde el eje X corresponde a los valores de  $a$  y el eje Y a los de  $b$ , donde  $0^\circ =$  color rojo-púrpura;  $90^\circ =$  amarillo;  $180^\circ =$  verde; y  $270^\circ =$  azul (McGuire, 1992).

La evaluación final consistió en cuantificar el porcentaje de endospermo córneo, el cual debe ser igual o superior 48%. La evaluación de los híbridos se hizo por duplicado (dos muestras por repetición); por lo tanto, los valores que se presentan en los cuadros de los parámetros de grano, nixtamal, tortilla y harina son el promedio de cuatro determinaciones.

In 2007 the following white grain hybrids were valued industrial and nutritional quality: H-564C, HQ-1, HQ-3 and the yellow grain variety V-556AC, maize genotypes with high quality proteins, in which physical, chemical, nixtamal dough and tortilla characteristics were established, as well as amino acids lysine and tryptophan, in endosperm, whole grain and tortillas, following methods by the American Association of Cereal Chemists AACC (1998), Association of Official Analytical Chemists AOAC (1984), and those described in the Mexican regulations for maize used for nixtamalization, NMX-034(1) (2002) as well as those stated by Salinas and Vázquez (2006).

The evaluation of the quality of nixtamalized flour consisted of identifying maize with levels of flotation lower than or equal to 20%, and grain color with reflectance values higher than 55% in the Agron equipment. The color was then evaluated in processed grain flour, with values that must be of at least 77%. Color was measured in whole grains and tortillas, using Mini Scan XE plus (Hunter Lab, model 45/0-L) color meter, that breaks color down into three variables:  $L^*$  which represents glossiness, and has values of 100 (White) to 0 (black); scale  $a^*$  registers positive values when red tones are present and negative values in the presence of green tones. Variable  $b^*$  grades colors yellow (+) to blue (-). Variables  $a^*$  and  $b^*$  were used to calculate the angle of the hue tone or tint ( $\text{hue} = \arctan a/b$ ), which is an angular value that indicates the quadrant that corresponds to the color of the sample in a cartesian system, where the X axis represents values of  $a$  and the Y axis, values of  $b$ , where  $0^\circ =$  color red-purple;  $90^\circ =$  yellow;  $180^\circ =$  green; and  $270^\circ =$  blue (McGuire, 1992).

The final evaluation consisted in quantifying the percentage of corneal endosperm, which had to be equal to or greater than 48%. The evaluation of hybrids was carried out by duplicates (two samples per repetition). Therefore, the values presented in the tables for the parameters grain, nixtamal, tortilla and flour are the average of four determinations.

Table 1 registers the process to obtain the maize hybrid H-564C, from the derivation of lines to characterization, the registration in SNICS and the official release.

### Adaptation and yield

H-564C adapts to the tropical area of southeastern Mexico in altitudes of 0 to 1 200 masl in climates Aw0, Aw1, Aw2, Am and Af, which, according to the classification by Köppen



El Cuadro 1 registra el proceso de obtención del híbrido de maíz H-564C, desde la derivación de líneas hasta la caracterización, el registro ante el SNICS y la liberación oficial.

and modified by García (1981), correspond to humid and subhumid climates. Particularly, in evaluations carried out in 2005 under the natural pressure of the disease known

**Cuadro 1. Esquema del proceso de obtención del híbrido de maíz H-564C.**

**Table 1. Scheme for the process to obtain maize hybrid H-564C.**

Año	Descripción de la actividad
2001-2004	Derivación de líneas de maíz con alta calidad de proteína
2004-2005	Formación y evaluación de híbridos trilineales de maíz con alta calidad de proteína
2005-2006	Producción de semilla de híbridos sobresalientes
2006-2007	Validación de híbridos sobresalientes en seis localidades del estado de Veracruz y del sureste de México en terrenos de productores
2007-2008	Caracterización de híbridos sobresalientes de maíz y de sus progenitores
	Determinación de la calidad industrial y nutricional
2009	Registro ante el SNICS y liberación oficial del H-564C

**Adaptación y rendimiento**

H-564C se adapta a la región tropical del sureste de México en altitudes de 0 a 1 200 msnm en climas Aw0, Aw1, Aw2, Am y Af que de acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García (1981), corresponde a los climas cálido húmedo y subhúmedo. Particularmente, en evaluaciones durante 2005 bajo presión natural de la enfermedad del “achaparramiento” en las localidades de Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, Veracruz, (Cuadro 2), el H-564C rindió en promedio 5.91 t ha<sup>-1</sup> a través de tres ambientes, significativamente mayor 15% al 0.05 de probabilidad, en relación con el testigo H-520 (Reyes, 1990). En la localidad de Cotaxtla, Veracruz; donde la presencia de la enfermedad fue menor, los rendimientos tanto del H-564C como del híbrido H-520 y los híbridos experimentales fueron mayores.

as corn stunt in Tlalixcoyan and Ignacio de la Llave, Veracruz, (Table 2), H-564C yielded an average of 5.91 t ha<sup>-1</sup> in three environments, significantly higher by 15% to the 0.05 probability, than the control H-520 (Reyes, 1990). In Cotaxtla, Veracruz, where the presence of the disease was less, yields of H-564C and H-520 and the experimental hybrids were greater.

The advantages in yield and agricultural characteristics of these hybrids is an alternative in maize farming in Veracruz, with the additional advantage of a higher lysine and tryptophan content in H-564C than in normal maize (Mertz, 1994; Vasal *et al.*, 1994), which would help improve the nutrition of consumers (Morris and López, 2000). The locations of Tlalixcoyan and Ignacio de la Llave, present lower average yields due to a lower presence of corn stunt.

**Cuadro 2. Rendimiento experimental del híbrido H-564C, en comparación con genotipos comerciales y experimentales de maíz en Veracruz. Primavera-verano, 2005.**

**Table 2. Experimental yield of the hybrid H-564C, in comparison to commercial and experimental genotypes of maize in Veracruz. Spring-Summer, 2005.**

Híbrido	Rendimiento grano (t ha <sup>-1</sup> )			$\bar{X}$	Porcentaje relativo
	Cotaxtla	Talixcoyan	Ignacio de la Llave		
H-564C	7.49*	5.11*	5.13*	5.91*	115
HQ3	7.18*	4.71*	5.74*	5.88*	115
HQ1	7.47	5.29*	4.32	5.69*	111
H-520	7	4.67*	3.71	5.13	100
H-519C	5.66	2.98	2.13	3.59	70
$\bar{X}$	6.69	4.52	4.26	5.15	
DMS <sub>0.05</sub>	1.26	0.81	1.11	0.6	
CV (%)	11.42	10.84	13.71	12.58	
CME	0.58	0.24	0.45	0.42	

\*= significancia estadística ( $p=0.05$ ); DMS= diferencia mínima significativa; CME= cuadrado medio del error.

Las ventajas de rendimiento y características agronómicas de estos híbridos, representa una alternativa en la producción de maíz por los agricultores maiceros del estado de Veracruz, con la ventaja adicional de un mayor contenido de lisina y triptófano de H-564C con relación al maíz normal (Mertz, 1994; Vasal *et al.*, 1994), lo que ayudaría a mejorar la nutrición de los consumidores (Morris y López, 2000). Las localidades de Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, registran rendimientos medios más bajos debido a una mayor presencia de la enfermedad del “achaparramiento”.

### Tolerancia al “achaparramiento”

Con relación a la presencia de daño por “achaparramiento” en planta y mazorca y considerando la sintomatología que incluye: coloración amarillo rojizo en hojas en los tercios de las plantas, reducción de altura y proliferación de mazorcas durante el período de llenado de grano; mazorcas pequeñas, chupadas y sin grano al momento de la cosecha (Sierra *et al.*, 2007), se encontró que H-564C al igual que los híbridos experimentales HQ3 y HQ1 y H-520, registraron porcentajes de planta y mazorca con “achaparramiento” significativamente más bajos y con menor severidad de daño, en relación con el testigo H-519C, primer híbrido de maíz con alta calidad de proteína generado para el trópico mexicano (Cuadro 3). Particularmente, H-564C registró valores 10.99% de plantas con daño por achaparramiento, con la calificación de severidad más baja (1.67) y consecuentemente los porcentajes de mazorcas dañadas también más bajos (7.36%), valores que sugieren relativa tolerancia de este híbrido a la enfermedad.

### Tolerance to corn stunt

In relation to damage by corn stunt in the plant and ear, and considering the symptomatology which includes reddish-yellow coloring in leaves in one third of the plants, reduction in height and the proliferation of ears during the period of filling of grains, along with small, thin and grain less ears at the moment of harvesting (Sierra *et al.*, 2007), it was found that H-564C, as well as the experimental hybrids HQ3 and HQ1 and H-520, presented percentages of plants and ears with significantly lower degrees of corn stunt and less severe damage, in relation to control H-519C, the first maize hybrid with high protein quality generated for the Mexican tropics (Table 3). Particularly, H-564C presented 10.99% of plants with damage from corn stunt, with the lowest degree of severity (1.67), and consequently, the lowest percentage of ears damaged (7.36%); these values suggest a relative tolerance of this hybrid to the disease.

Validation through six fields, carried out in 2006 (Table 4), H-564C registered average yields of 5.42 t ha<sup>-1</sup>, statistically similar to H-520 (5.38 t ha<sup>-1</sup>), a normal maize hybrid released more recently and 24% more than the synthetic variety VS-536 (4.37 t ha<sup>-1</sup>), more widely used in southeastern Mexico. These results suggest the free use of the hybrid H-564C.

### Agronomic characteristics

In terms of the agricultural characteristics, during the spring-summer cycle of 2006, under rainy conditions, hybrid H-564C displayed a low plant and ear height of 229 and 110 cm

**Cuadro 3. Daño y severidad por achaparramiento en planta y mazorca de genotipos de maíz en Veracruz. Primavera-verano, 2005<sup>1/</sup>.**

**Table 3. Damage and severity of stunt in the plant and ear of maize genotypes in Veracruz. Spring-Summer, 2005<sup>1/</sup>.**

Híbrido	Plantas con achaparramiento (%)	Severidad del daño <sup>a/</sup>	Mazorcas con achaparramiento (%)
H-564C	10.99*	1.67*	7.36*
HQ3	10.71*	1.89*	12.79*
HQ1	13.8**	2.56**	11.16*
H-520	15.5**	2.22*	18.27*
H-519C	31.14	4.89	36.93
$\bar{X}$	21.67	2.97	21.83
DMS <sub>0.05</sub>	6.57	0.81	12.18
DMS <sub>0.01</sub>	8.69	1.07	16.11
CV (%)	17.01	29.16	25.09
CME	13.59	0.75	1.17

<sup>1/</sup>= promedio de las localidades de Cotaxtla, Tlalixcoyan e Ignacio de la Llave, Veracruz; \*, \*\*= significancia estadística al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente; DMS= diferencia mínima significativa; <sup>a/</sup>= escala de calificación de 1 a 9, donde 1 representa el menor daño y 9 la mayor afectación.

La validación a través de seis parcelas conducidas en 2006 (Cuadro 4), el H-564C registró rendimientos medios de 5.42 t ha<sup>-1</sup>, estadísticamente similar a H-520 (5.38 t ha<sup>-1</sup>), híbrido de maíz normal de más reciente liberación y 24% más que la variedad sintética VS-536 (4.37 t ha<sup>-1</sup>), de mayor uso comercial en el sureste mexicano. Estos resultados sugieren usar comercialmente el híbrido H-564C.

respectively, 56 days to male flowering and 57 to female flowering; physiological ripeness is reached in 90 to 100 days and harvest can be performed after 120 days. It is tolerant to lodging, with a good aspect and plant and ear health, excellent ear coverage, with 14 rows, white grain and a semi-crystalline texture. It is tolerant to stunt, which has gained importance, especially in maize-growing areas of the center and south of Veracruz, where maize production for corn is significant.

**Cuadro 4. Rendimiento de grano (t ha<sup>-1</sup>) del híbrido H-564C en parcelas de validación del estado de Veracruz. Primavera-verano, 2006.**

**Table 4. Grain yield (t ha<sup>-1</sup>) of the hybrid H-564C in validation fields in the State of Veracruz. Spring-Summer, 2006.**

Genotipo	Ignacio de la Llave	Tlalixcoyan	Cotaxtla	Mata de Agua	Martínez de la Torre	Rodríguez Clara	$\bar{X}$	Porcentaje relativo (%)
H-564C	6.65**	5.18*	7.74*	5.82**	4.98*	2.15	5.42	124
H-520	5.49**	4.5*	7.33*	7.52*	4.15*	3.3*	5.38*	123
HQ3	5.8**	5.2*	7.78*	5.71*	4.02*	2.26	5.13*	117
HQ1	5.73**	4.98*	7.31*	5.2**	3.82**	3.3*	5.06*	116
VS-536	5.06**	3.64**	6.58*	4.58	4.15	2.23	4.37	100
$\bar{X}$	5.21	4.23	7.02	5.15	3.91	2.74	4.73	
CV (%)	13.97	16.38	8.55	13.73	10.85	15.05	12.68	
DMS <sub>0.05</sub>	1.68	1.57	1.36	1.62	1.01	0.93	0.49	
DMS <sub>0.01</sub>	2.44	2.25	1.95	2.32	1.46	1.34	0.66	
CME	0.52	0.48	0.36	0.5	0.18	0.17	0.36	

\*\*= significancia de los tratamientos con  $p=0.05$  y  $p=0.01$  respectivamente; DMS= diferencia mínima significativa.

### Características agronómicas

En cuanto a sus características agronómicas, durante el ciclo primavera-verano 2006 bajo condiciones de temporal, el híbrido H-564C registró altura de planta y mazorca baja con 229 y 110 cm para cada variable respectivamente, 56 días a floración masculina y 57 a floración femenina, alcanza su madurez fisiológica entre 90 y 100 días y la cosecha puede efectuarse a 120 días. Es tolerante al acame, con buen aspecto y sanidad de planta y mazorca, excelente cobertura de mazorca, con 14 hileras, grano blanco y de textura semicristalino. Tolerante a la enfermedad de "achaparramiento", enfermedad que durante los últimos años ha cobrado importancia, sobre todo en áreas maiceras de las zonas centro y sur del estado de Veracruz, donde la producción de maíz para elote es importante. H-564C registró los porcentajes más bajos de plantas con síntomas, la menor severidad y los porcentajes más bajos de mazorcas con daño de "achaparramiento" (Cuadro 5 y Figura 1). Lo anterior sugiere que es un material que puede adaptarse y ser sembrado para la producción comercial de maíz.

H-564C displayed the lowest percentages for plants with symptoms, the least severity and the lowest percentages of ears with stunt damage (Table 5 and Figure 1). This suggests that it is adaptable and can be used for commercial maize production.

**Cuadro 5. Características agronómicas del híbrido de maíz H-564C, H-520 y VS-536 en Veracruz. Primavera-verano, 2006.**

**Table 5. Agricultural characteristics of maize hybrids H-564C, H-520 and VS-536 in Veracruz. Spring-Summer, 2006.**

Característica	H-564C	H-520	VS-536
Altura de planta (cm)	229	233	234
Altura de mazorca	110	111	118
Días a floración	57	56	55
Aspecto de planta <sup>1/</sup>	1.88	1.75	2.46
Sanidad de planta <sup>1/</sup>	1.96	1.88	2.58
Mazorcas podridas (%)	4.19	5.72	6.38
Aspecto de mazorca <sup>1/</sup>	1.5	1.8	2.35
Sanidad de mazorca <sup>1/</sup>	1.5	1.9	2.45
Cobertura de mazorca (%)	97.2	97.39	93.2

<sup>1/</sup>= escala 1 a 5, donde: 1= mejor y 5= peor.



## Contenido de lisina y triptófano

Desde el punto de vista nutricional, los maíces con alta calidad de proteína tuvieron más lisina y triptófano en el endospermo que el testigo normal, y muy próximos a los valores informados en la literatura para los maíces de alta calidad de proteína. Destaca el híbrido HQ-3 por haber sido de mayores contenidos de estos aminoácidos en su endospermo, análogamente fue el de mayor contenido de triptófano en grano entero, observando que durante la transformación a tortilla se perdió 27%, de este aminoácido, valor que fue ligeramente superior a 15% informado por Ortega *et al.*, (1986). El híbrido H-564C tiene mayor contenido de lisina y triptófano en el endospermo, grano entero y tortillas, que el maíz normal; particularmente, este híbrido registró 72% más lisina y 56% más triptófano en el grano entero que el maíz normal (Cuadro 6).



**Figura 1. Aspecto de planta del híbrido H-564C.**  
**Figure 1. Aspect of the hybrid H-564C plant.**

**Cuadro 6. Contenidos de aceite, lisina y triptófano en genotipos de maíz con alta calidad de proteína. Cotaxtla, Veracruz, 2007.**  
**Table 6. Content of oil, lysine and tryptophan in maize genotypes with high quality of proteins. Cotaxtla, Veracruz, 2007.**

Genotipo	Aceite (%)	Lisina (%)		Triptófano (%)		
		Endospermo	Grano entero	Endospermo	Grano entero	Tortillas
H-564C	4.23	0.233	0.352*	0.066	0.086	0.058
HQ-1	4.41*	0.23	0.31	0.071*	0.075	0.068
HQ-3	4.28	0.262*	0.294	0.076*	0.104*	0.076
V-556AC	4.23	0.248	0.334	0.066	0.081	0.081*
DMS <sub>0.05</sub>	0.12	0.006	0.008	0.0057	0.0126	0.0059
Maíz con alta calidad de proteína		0.289	0.414	0.072	0.0989	0.903
Maíz normal (testigo)		0.21	0.252	0.045	0.055	0.05

\*= significancia de los tratamientos con  $p=0.05$ ; DMS= diferencia mínima significativa.

## Calidad nixtamalera

Por las características de calidad del híbrido H-564C, se recomienda para las industrias de la masa y la tortilla y de harina nixtamalizada, ya que es de grano blanco (85% de índice de reflectancia) y tamaño pequeño, textura dura (flota 23% de granos) y una densidad de 79.5 kg hL<sup>-1</sup>. En el proceso de nixtamalización registra valores medios de 47% de humedad en nixtamal y 3% de sólidos desprendidos. Cada kilogramo de maíz nixtamalizado, proporciona 1.55 kg de tortillas, las cuales tienen una humedad de 43.4%, color crema clara, son elásticas y suaves, características que están dentro de las especificaciones de la norma NMX (2002) para los maíces destinados a la elaboración de tortillas (Cuadro 7 y 8).

## Content of lysine and tryptophan

From a nutritional point of view, high quality protein maize contain more lysine and tryptophan in the endosperm than the normal control, and displays values very similar to those reported by literature on high-protein quality maize. Hybrid HQ-3 stands out as containing more of these aminoacids in its endosperm. Similarly, it contained the highest levels of tryptophan in whole grains, yet lost 27% of this aminoacid in the tortilla-making process, according to Ortega *et al.*, (1986). The hybrid H-564C has a greater content of lysine and tryptophan in the endosperm, whole grain and tortillas than normal maize; particularly, this hybrid presented 72% more lysine and 56% more tryptophan in whole grains than normal maize (Table 6).

**Cuadro 7. Características físicas del grano en el híbrido de maíz H-564C. Cotaxtla, Veracruz, 2007.****Table 7. Physical characteristics of the grain in maize hybrid H-564C. Cotaxtla, Veracruz, 2007.**

Genotipo	Peso 100 granos (g)	Peso hectolitrico kg hL <sup>-1</sup>	IF (%)	Textura	Reflectancia		Color Hue (°)	
					GE	Harina	GE	Harina
H-564C	27.2	79.5	23	D	54	85	82.5	89.7
HQ-1	26.97	75.4	39	I	55	81	83.5	89.9
HQ-3	27.38	79.1	26	D	56	88	82.8	90.1
V-556AC	24.9	82.5	17	D	38	78	65.5	80.3
DMS	2.45	1.12	7		2		1.1	0.24
NMX/034(2002) <sup>o</sup>		> 74	< 40		> 55	> 77		

IF= índice de flotación; GE= grano entero; I= intermedio; D= duro; (°)= tono de la coloración en el Hunter Lab, DMS= diferencia mínima significativa, °= valores establecidos por la norma mexicana para maíz nixtamalizado.

**Cuadro 8. Parámetros de calidad de nixtamal y tortillas del híbrido H-564C. Cotaxtla, Veracruz, 2007.****Table 8. Quality parameters of nixtamal and tortillas made with hybrid H-564C. Cotaxtla, Veracruz, 2007.**

Genotipo	Humedad (%)		Sólidos (%)	RTF	Fuerza (gF)		Color Hue (°)	
	Nixtamal	Tortillas			2 h	24 h	2 h	24 h
	H-564C	47	43.4*	3	1.55*	470.5*	717.7*	91.3
HQ-1	46.9	43.9*	3.6*	1.51	465.3*	480.1	90.6	91.7*
HQ-3	48.8*	42.5*	3.2	1.43	483.7*	537.2	91.4	91.5*
V-556AC	45.1	40.2	2.9	1.51	427.3	567.1	80.2	80.9
DMS	1.47	2.8	0.2	0.03	25.1	81.8		0.9
NMX034(2002)	36-42		< 5					

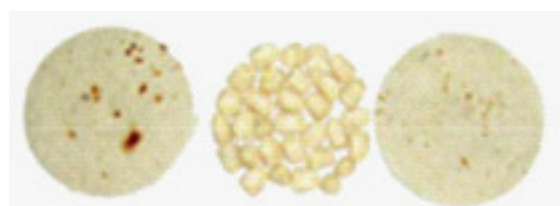
DMS= diferencia mínima significativa; RTF= rendimiento de tortilla fría; gF= gramo fuerza; (°)= tono de la coloración en el Hunter Lab; \* = significancia de los tratamientos con  $p=0.05$ .

Destaca pues, que el híbrido H-564C tiene alto valor de reflectancia de sus harinas nativas ( $x=85\%$ ), elevada absorción de agua de su nixtamal (47%) y sus tortillas (43.4%), lo que se reflejó en un mayor rendimiento de tortillas (1.55 kg kg<sup>-1</sup> de maíz procesado).

El híbrido H-564C cumple con las especificaciones de la norma mexicana, para maíces destinados al proceso de nixtamalización y se puede procesar exitosamente por la industria de harina nixtamalizada. Por lo anterior, este híbrido de alta calidad proteínica, es una alternativa viable para mejorar la nutrición y elaborar tortillas con buena calidad comercial (Figura 2).

### Quality of nixtamalization

Due to the quality characteristics of the hybrid H-564C, it is recommended for dough and the nixtamalized flour industries, since it has white grains (85% reflectance rate) and a small size, hard texture (23% of grains float) and a density of 79.5 kg hL<sup>-1</sup>. In the process of nixtamalization, it presents average values of 47% humidity in nixtamal and 3% of detached solid. Each kilogram of nixtamalized maize produces 1.55 kg of tortillas with a humidity of 43.4%, a light cream color, they are soft and elastic, i.e., characteristics specified in the NMX regulations (2002) for maize for the production of tortillas (Tables 7 and 8).

**H-564C****Figura 2. Tortillas de alta calidad proteínica elaboradas con maíz H-564C.****Figure 2. High-quality protein tortillas made with maize hybrid H-564C.**

### Producción de semilla

Para la producción de semilla con híbrido H-564C, se deben establecer lotes aislados de desespigamiento, en los cuales el progenitor hembra, es la cruce simple LT-158\*LT-159 y el progenitor macho es la línea LT-160. Se recomienda sembrar primero la línea macho y tres días después la cruce simple hembra, en una relación hembra: macho de 4:2 ó de 6:2.

En relación con los progenitores, bajo condiciones de riego en el Campo Cotaxtla, Veracruz, las líneas LT158, LT159 y LT160 registran buen rendimiento *per se*, lo que facilita el incremento de su semilla en categorías básica y registrada (González *et al.*, 1990; Vasal *et al.*, 1994; Vasal y Córdova, 1996; Espinosa *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 1998). Sin embargo, la ventaja mayor la ofrece la cruce simple LT158\*LT159 usada como progenitor hembra, con un rendimiento de 5.59 t ha<sup>-1</sup> (Cuadro 9). Lo anterior representa ventajas económicas en la producción comercial de semilla certificada, para las empresas que incrementen y distribuyan este híbrido (Espinosa *et al.*, 1998; Sierra *et al.*, 2005).

**Cuadro 9. Rendimiento promedio de progenitores del H-564C bajo condiciones de riego y temporal. Cotaxtla 2006A, 2006B y 2009A.****Table 9. Average yield of parents of H-564 C under rainy and irrigation conditions. Cotaxtla 2006A, 2006B and 2009A.**

Genealogía	Rendimiento de semilla (t ha <sup>-1</sup> ) 2006A	Rendimiento de semilla (t ha <sup>-1</sup> ) 2006B	Rendimiento de semilla (t ha <sup>-1</sup> ) 2009A
LT158*LT159	5.36	7.41	5.59
LT158	SD	1.1	2.16
LT159	SD	2.1	2.07
LT160	2.32	2.3	1.26

SD= sin dato; A= ciclo otoño-invierno, B= ciclo primavera-verano.

It is worth mentioning, therefore, that hybrid H-564C has a high reflectance of its native flours ( $x=85\%$ ), a high water absorption of its (47%) and its tortillas (43.4%), which is reflected on a greater yield of tortillas (1.55 kg kg<sup>-1</sup> of processed maize).

Hybrid H-564C complies with the specifications of Mexican regulations for maize for nixtamalization, and it can be successfully processed by the nixtamalized flour industry. This makes this high-quality protein hybrid a viable alternative to improve nutrition and produce good commercial quality tortillas (Figure 2).

### Seed production

For the production of seeds with hybrid H-564C, isolated detasseling batches must be established, in which the female parent is the simple breed LT-158\*LT-159 and the male parent is line LT-160. It is recommended to plant the male line first, and three days later, the simple female breed, in a female: male relation of 4:2 or 6:2.

Regarding the relations with the parents, under irrigation conditions in the Cotaxtla Field, Veracruz, lines LT158, LT159 and LT160 displayed a good yield *per se*, which helps increase their seeds in basic and registered categories (González *et al.*, 1990; Vasal *et al.*, 1994; Vasal y Córdova, 1996; Espinosa *et al.*, 1998; Ramírez *et al.*, 1998). However, the greatest advantage is found in simple breed LT158\*LT159 used as a female parent, with a yield of 5.59 t ha<sup>-1</sup> (Table 9). This represents economic advantages in the commercial production of certified seeds for companies to increase and distribute this hybrid (Espinosa *et al.*, 1998; Sierra *et al.*, 2005).

Para garantizar la pureza genética, la semilla del híbrido H-564C y sus progenitores, debe producirse en lotes aislados, separados de otros terrenos sembrados con maíz al menos 200 m para semilla certificada y 300 m para semilla registrada, o bien con 20 días de diferencia en la fecha de siembra, de manera que no haya coincidencia de la floración del lote de producción de semilla con otros lotes vecinos. La siembra de los progenitores hembra y macho para obtener semilla certificada deberá hacerse en una relación hembra: macho 4:2, o bien 2:1, para lograr una buena polinización. En la formación de la cruce simple hembra debe usarse como hembra la línea LT158 y como macho la LT159, en una relación hembra: macho de 4:2 o bien 2:1, las espigas de los progenitores hembra deberán ser eliminadas antes de la emisión de polen.

El incremento de semilla básica puede hacerse en lotes aislados de polinización libre en una superficie de al menos 1 000 m<sup>2</sup>, teniendo cuidado en los aspectos de aislamientos y desmezclas sugeridos para la conservación y mantenimiento de la identidad varietal. La semilla de estos materiales puede ser producida en primavera-verano u otoño-invierno. Sin embargo, la siembra de otoño-invierno permite un mejor control de humedad en el suelo y humedad relativa, pero sobretodo la oportunidad de cosecha, secado y comercialización durante el ciclo primavera-verano. Con relación a la fertilización, se recomienda aplicar 20% adicional del nitrógeno recomendado para la producción de grano y 30 unidades de potasio.

## CONCLUSIONES

El híbrido H-564C registró rendimiento competitivo, buena cobertura de mazorca, así como aspecto y sanidad de planta y mazorca, y tolerancia a la enfermedad del achaparramiento, elementos que permiten recomendarlo para su siembra comercial.

El híbrido H-564C presenta características idóneas para satisfacer la demanda de la industria de la masa y la tortilla, ya que cumplen con las especificaciones de la norma mexicana para maíces destinados al proceso de nixtamalización.

El híbrido H-564C puede ser procesado exitosamente por la industria de harina nixtamalizada, ya que desprende gran parte de su pericarpio después de la nixtamalización.

To guarantee genetic purity, the seeds of hybrid H-564C and its parents must be produced in isolated batches, separated from other fields containing maize by at least 200 m for certified seeds, and 300 m registered seeds, or with a 20-day difference in the dates of plantation, to avoid coincidences of the seed production batch with other neighboring batches. The plantation of male and female parents to obtain certified seeds must be carried out in a female: male relation of 4:2, or 2:1, to optimize pollination. In the formation of the simple female breed, line LT158 must be used as a female and as a male, line LT159, in a female: male relation of 4:2 or 2:1, the ears of the female parents must be eliminated before emitting pollen.

The increase in basic seed can be carried out in isolated pollination batches in a surface of at least 1 000 m<sup>2</sup>, with caution for the aspects of isolation and remixes suggested for the conservation and maintenance of the varietal identity. Seeds of these materials can be produced in the spring-summer or the autumn-winter. However, the autumn-winter plantation helps control relative humidity and humidity in the soil better, but particularly the opportunity to harvest, dry and commercialization during the spring-summer. In terms of fertilization, it is recommended to apply an additional 20% more of nitrogen than recommended for the production of grain, along with 30 units of potassium.

## CONCLUSIONS

Hybrid H-564C displayed a competitive yield, good ear coverage, as well as plant and ear health and aspect, and tolerance to stunt, all of which make it recommendable for commercial use.

Hybrid H-564C displays ideal characteristics to satisfy the demand of the dough and tortilla industry, since they comply with the specifications of Mexican regulations on maize for nixtamalization.

Hybrid H-564C can be successfully processed by the nixtamalized flour industry, since it releases a large portion of its pericarp after nixtamalization.

El nuevo híbrido de maíz de alta calidad proteínica, es una alternativa viable para incrementar los rendimientos, mejorar la nutrición y elaborar tortillas con buena calidad comercial.

The new maize hybrid has high quality protein, it is a viable alternative for increasing yields, improve nutrition and producing commercial-quality tortillas.

*End of the English version*

## LITERATURA CITADA

- American Association of Cereal Chemists (AACC) 1998. Approved methods of the American association of cereal chemists. 10<sup>th</sup> edition. The Association: St. Paul, MN. USA. 1 200 p.
- Association of Official Analytical Chemists (AOACH). 1984. Official Methods of Analysis the Association of Official Analytical Chemists. 13<sup>th</sup> edition. 132-133 p.
- Chávez, A. and Chávez, M. 2004. La tortilla de alto valor nutritivo. Mc Graw Hill. D. F., México. 110 p.
- Espinosa, C. A.; Ortiz, C. J.; Ramírez, F. A.; Gómez, M. N. y Martínez, G. A. 1998. Estabilidad y comportamiento de líneas *per se* y cruza de maíz en la producción de semilla. *Agric. Téc. Méx.* 24(1):27-36.
- Espinosa, C. A.; López Pereira, M. A.; Gómez, M. N.; Betanzos, M. E.; Sierra, M. M.; Coutiño, E. B.; Aveldaño, S. R.; Preciado, O. E. y Terrón, A. D. 2003. Indicadores económicos para la producción y uso de semilla mejorada de maíz de calidad proteínica (QPM) en México. *Agronomía Mesoamericana*. 14(1):105-106.
- Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Sierra, M. M.; Betanzos, M. E. y Caballero, H. F. 2006. Variedades e híbridos de maíz de calidad proteínica en México. *Ciencia*. 57(3):28-34.
- García, E. 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 3<sup>ra</sup> edición. Universidad Nacional Autónoma de México. Instituto de Geografía. D. F., México. 252 p.
- Gómez, M. N. 1986. Aptitud combinatoria de maíces tropicales y subtropicales en la región de transición baja de Guerrero. *Rev. Fitotec. Mex.* 8(1):3-19.
- González, G. C.; Molina, G. J. D. y Martínez, G. A. 1990. Implicaciones del rendimiento *per se* y de la ACG de líneas autofecundadas de maíz (*Zea mays* L.) en la predicción de cruza simples de alto rendimiento. *Agrociencia*. 1(2):29-42.
- Larkins, B. A.; Danneffer, D. F.; Bostwick, E. O.; Moro G. A. and López, M. A. 1994. Opaque 2 modifiers, what they are and how they work, *In*: quality protein maize. 1964-1994. Proc. of the international symposium on quality protein maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG Brasil. 133-148 p.
- Mertz, E. T. 1994. Thirty years of opaque 2 maize. *In*: quality protein maize. 1964-1994. Proc. of Symp. of quality protein maize. EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas M. G. Brasil. 1-10 p.
- Mertz, E. T.; Bates, L. S. and Nelson, O. E. 1964. Mutant gene that changes protein composition and increase lysine content of maize endosperm. *Science*. 145:279-280.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting objective color measurements. *Hort. Sci.* (27):1254-1255.
- Morris, M. L. y López, P. M. A. 2000. Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1966-1997. CIMMYT. D. F., México. 45 p.
- 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. SAGARPA. Dirección General de Normas. D. F., México. 18 p.
- Ortega, C. A.; Villegas, E. and Vasal, S. K. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chemistry*. 63:446-451.
- Ramírez, D. J. L.; Ron, P. J.; Sánchez, G. J.; García, A. y Maya, J. B. 1998. Aptitud combinatoria general y correlaciones fenotípicas entre líneas y mestizos de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 9(2):69-76.
- Reyes, C. P. 1990. Diseño de experimentos aplicados. Editorial Trillas 3<sup>ra</sup> edición. 348 p.



- Salinas, M. Y. y Vázquez, C. M. G. 2006. Metodologías de análisis de calidad nixtamalera-tortillera en maíz. Campo Experimental Valle de México. INIFAP. Chapingo, Estado de México. México. Folleto técnico. Núm. 22. 80 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). 2004. Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. Subsistema de Información Agrícola. D. F., México. Versión en CD.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Vásquez, C. G.; Zambada, M. A.; Rodríguez, R. R. y Barrón, F. S. 2008. H-564C, híbrido de maíz con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC-INIFAP. Desplegable técnica. Núm. 6.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Becerra, L. E. N.; Córdova, O. H.; Espinosa, C. A. y Rodríguez, M. F. 2007. Comportamiento de híbridos de maíz con alta calidad de proteína, por su buen rendimiento y tolerancia al "achaparramiento". *Agronomía mesoamericana*. 18(1):93-101.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Espinosa, C. A.; Caballero, H. F.; Rodríguez, M. F.; Barrón, F. S. y Valdivia, B. R. 2005. Adaptabilidad de híbridos triples de maíz y de sus progenitores para la región tropical del sureste de México. *Agronomía mesoamericana*. 16(1):13-18.
- Sierra, M. M.; Márquez, S. F.; Valdivia, B. R.; Córdoba, O. H.; Lezama, G. R. y Pescador, R. A. 2004. Uso de probadores en la selección de líneas para formar híbridos de maíz (*Zea mays* L.). *Agric. Téc. Méx.* 30(2):169-181.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A.; Gómez, M. N.; Caballero, H. F.; Barrón, F. S. y Zambada, M. A. 2004a. H-518 y H-520, híbridos trilineales de maíz para el trópico húmedo de México. Campo Experimental Cotaxtla. CIRGOC-INIFAP. Veracruz, México. Folleto técnico. Núm. 38. 17 p.
- Sierra, M. M.; Palafox, C. A.; Cano, R. O.; Rodríguez, M. F. A.; Espinosa, C. A. y Turrent, F. A. 2001. Descripción varietal de H-519C, H-553C y V-537C, maíces con alta calidad de proteína para el trópico húmedo de México. Campo Experimental Cotaxtla. SAGARPA-INIFAP. Veracruz, México. Folleto técnico. Núm. 30. 21 p.
- Sierra, M. M.; Rodríguez, M. F. A.; Castillo, G. R. A. y Márquez, S. F. 1992. La aplicación de los parámetros de estabilidad en el mejoramiento de maíz de la región sur de México. *In: memorias del simposium de interacción genotipo ambiente en genotecnia vegetal*. Guadalajara, Jalisco. 239-260 p.
- Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) 2002. Guía técnica para la descripción varietal de maíz (*Zea mays* L.). SAGARPA-SNICSS. Distrito Federal, México. 20 p.
- Vasal, S. K. y Córdova, O. H. 1996. Heterosis en maíz: acelerando la tecnología de híbridos de dos progenitores para el mundo en desarrollo. *In: memorias del curso internacional de actualización en fitomejoramiento y agricultura sustentable*. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 32-54 p.
- Vasal, S. K. 1994. High quality protein corn. *In: specialty corn*. Hallauer, A. R. Ed. CRC press. Boca Ratón Fl. 75 p.
- Vasal, S. K.; Srinivasan, G.; Crossa, J. and Beck, D. L. 1992a. Heterosis and combining ability of CIMMYT's subtropical and temperate early maturity maize germplasm. *Crop Sci.* 32(4):884-890.
- Vasal, S. K.; Srinivasan, G.; Han, C. and González, C. F. 1992b. Heterotic patterns of eighty-eight white subtropical CIMMYT maize lines. *Maydica*. 37:319-327.
- Vasal, S. K.; Vergara, A. N. y McLean, S. 1994. Estrategias en el desarrollo de híbridos tropicales de maíz. *Agronomía Mesoamericana*. 5(2):184-189.
- Vasal, S. K. and Villegas, E. 2001. The quality protein maize revolution. Improved nutrition and livelihoods for the poor. CIMMYT. El Batán, Texcoco, México. 7 p.