

**TECNICATURA UNIVERSITARIA EN PROCESAMIENTO  
AGROALIMENTARIO**

***“Análisis de los Macronutrientes sintetizados por los  
Granos de Maíz con Valor Mejorado desarrollados para  
la industria alimentaria”***

**Trabajo Final de Carrera presentado para obtener el Título de Técnico  
Universitario en Procesamiento Agroalimentario**

**Alumno: Sr. Sergio Giménez**

**Director: Ing. Agr. Dr. Víctor Raúl Corcuera**

**Fecha: Diciembre de 2016**

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue determinar la calidad química del grano entero de diferentes híbridos de maíz con valor mejorado (VEC) así como de las harinas y aceites extraídos de ellos. Entre 2001/12 a 2013/14 se condujeron ensayos de campo en el Inst. de Genética E.A. Favret-INTA Castelar y mediante polinización controlada se obtuvieron muestras representativas de grano de doce híbridos experimentales (*almidón modificado y/o alta calidad proteica*). El contenido de aceite (*lípidos*), proteína y almidón del grano entero así como la densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) fue determinado mediante infrarrojo cercano en modo transmitancia (NIRt). En laboratorio húmedo se determinó el contenido de lisina en harinas de endosperma mediante espectrofotometría a 580 nm. También se determinó la calidad del aceite a través de cromatografía gaseosa (CG). Los híbridos analizados tienen un contenido proteico de 8,7 a 12,5%; 5,1 a 7,7 % de aceite y 67,1 a 71,6% de almidón. En 8/12 híbridos analizados se detectó una concentración de aceite superior al 6% lo cual permite clasificarlos como HOC (= High Oil Corn) lo cual constituye una alternativa óptima por su aporte calórico y nutricional. Asimismo, la mitad de los materiales presentó un contenido de proteína superior al 11,6% que es el máximo valor hallado en maíces comerciales en nuestro país. Los materiales analizados no presentaron correlación significativa entre las concentraciones de aceite y almidón del grano aunque sí entre las de aceite y proteína. En nueve de los híbridos estudiados se detectó una alta concentración de lisina (2,8 a 6,7 mg aa/100 mg proteína). La composición química de los granos, harinas y aceites analizados determina un particular perfil nutricional que sugiere su empleo en la industria alimentaria para desarrollar una diversidad de productos de alto valor agregado como por ejemplo harinas precocidas y alimentos elaborados destinados a la alimentación humana así como piensos y balanceados para la alimentación animal.

**Palabras clave (Keywords)=** *Maíz; Lisina; Almidón; Ácidos Grasos; Proteínas.*

## SUMMARY

The objective of this work was to determine the chemical quality of the whole grain of different hybrids of maize with improved value (VEC) as well as the flours and oils extracted from them. Field trials were conducted between 2001 and 2013/14 at the Genetics Institute E.A. Favret-INTA Castelar and by means of controlled pollination, representative grain samples of twelve experimental hybrids (modified starch and / or high protein quality) were obtained. The content of oil (lipids), protein and starch of the whole grain as well as the density ( $\text{g / cm}^3$ ) was determined by means of near infrared in transmittance mode (NIRt). In wet laboratory, the lysine content in endosperm flour was determined by spectrophotometry at 580 nm. The oil quality was also determined by gas chromatography (GC). The hybrids analyzed have a protein content of 8.7 to 12.5%; 5.1 to 7.7% oil and 67.1 to 71.6% starch. In 8/12 hybrids analyzed, an oil concentration higher than 6% was detected, which allows them to be classified as HOC (= High Oil Corn), which is an optimal alternative for their caloric and nutritional contribution. Also, half of the materials synthesize more than 11.6% protein which is the highest value found in commercial maize in our country. The materials under study did not show significant correlation between oil and starch concentrations of the whole grain but a positive correlation between oil and protein levels was found. In nine of the hybrids studied, a high concentration of lysine (2.8 to 6.7 mg aa / 100 mg protein) was detected. The chemical composition of the grains, flours and oils analyzed determines a particular

nutritional profile that suggests its use in the food industry to develop a diversity of products of high added value such as precooked flours and processed food intended for human consumption as well as balanced feed for animal production.

Keywords: Corn; Lysine; Starch; Fatty acids; Proteins.

### **Dedicatoria**

*A Dios. A mi madre Rosa Rivero y a la memoria de mi padre Osvaldo Giménez que contribuyeron a formarme como hombre y profesional. Al Prof. Dr. Víctor Corcuera quien me ayudo a cerrar este ciclo en la facultad de Ciencias Agrarias de la UNLZ. Y la memoria del Prof. Dr. Jorge pascual en representación de los buenos Profesores de esta facultad.*

# ÍNDICE

## ***ÍNDICE GENERAL***

Contenido	Página
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>2. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>4</b>
<i>2.1 Material Vegetal</i>	<b>4</b>
<i>2.2 Análisis Químico</i>	<b>4</b>
<i>2.2.1 No destructivo en laboratorio seco mediante infrarrojo cercano</i>	<b>4</b>
<i>2.2.2 Destructivo en laboratorio húmedo</i>	<b>5</b>
<i>2.2.2.1 Determinación del contenido de lisina mediante espectrofotometría</i>	<b>5</b>
<i>2.2.2.2 Determinación del perfil de ácidos grasos</i>	<b>5</b>
<b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
<i>3.1 Análisis del grano entero mediante infrarrojo cercano</i>	<b>6</b>
<i>3.2 Determinación del nivel de lisina en harinas del endosperma del grano</i>	<b>11</b>
<i>3.3 Determinación del perfil de ácidos grasos de los híbridos VEC mediante cromatografía de gases</i>	<b>16</b>
<b>4. CONCLUSIONES</b>	<b>20</b>
<b>5. AGRADECIMIENTOS</b>	<b>22</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>23</b>

## **ÍNDICE DE TABLAS**

	Página
<b>TABLA 1.</b> <i>Análisis composicional del grano entero mediante tecnología de infarrojo cercano no destructiva (NIRt).</i>	<b>6</b>
<b>TABLA 2.</b> <i>Valor de las correlaciones fenotípicas y su significancia entre los parámetros químicos y físicos del grano.</i>	<b>11</b>
<b>TABLA 3.</b> <i>Curva de calibración para determinar contenido de lisina en híbridos HC.</i>	<b>12</b>
<b>TABLA 4.</b> <i>Contenido de lisina en harinas del endosperma de híbridos VEC.</i>	<b>15</b>
<b>TABLA 5.</b> <i>Comparación de los niveles de lisina determinados en los distintos grupos de híbridos VEC y los materiales empleados como testigos.</i>	<b>16</b>
<b>TABLA 6.</b> <i>Perfil de ácidos grasos y parámetros de calidad de los aceites aislados de híbridos VEC.</i>	<b>19</b>
<b>TABLA 7.</b> <i>Resumen de la calidad química de los granos enteros, harinas y aceites correspondientes a diferentes híbridos de maíz con valor mejorado (VEC).</i>	<b>21</b>

## ***ÍNDICE DE LÁMINAS Y GRÁFICOS***

	<b>Página</b>
<b>Lámina 1.</b> <i>Evaluación de las muestras utilizando un equipo de infrarrojo cercano.</i>	<b>8</b>
<b>Lámina 2.</b> <i>Concentración de aceite y proteína de los híbridos VEC.</i>	<b>9</b>
<b>Lámina 3.</b> <i>Concentración de almidón y Densidad del grano de los híbridos VEC.</i>	<b>10</b>
<b>Gráfico 1.</b> <i>Curva de regresión absorbancia D.O. a 580 nm vs. concentración de L-lisina.</i>	<b>12</b>
<b>Lámina 4.</b> <i>Determinación del contenido de lisina en harinas del endosperma de los granos producidos por híbridos VEC.</i>	<b>13</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria alimenticia transforma los productos de la agricultura y ganadería. La exigencia de los consumidores obliga a ofrecer una amplia variedad de productos a precios atractivos y ello se traduce en requerimientos específicos de calidad y cantidad de las industrias transformadoras que a su vez compiten entre ellas, reclamando a los agricultores materias primas que cumplan con los deseos del mercado.

La industria alimentaria evoluciona hacia una mayor concentración y utilización de tecnología. La tendencia es elaborar productos con mayor valor agregado como las comidas preparadas y precocidos. Esto se debe a una mejor calidad de vida y prosperidad en los países desarrollados en los cuales los habitantes dedican menor proporción de sus ingresos a la compra de alimentos crudos. Pero además debe tenerse en cuenta que un alimento procesado de calidad se origina en ingredientes de calidad siendo responsabilidad de las plantas elaboradoras cerciorarse de que los que integran sus alimentos sean sanos y seguros. Es aquí donde toma importancia el nuevo concepto de Valor mejorado (VE) que se refiere a cualquier *commodity* destinado a cubrir las necesidades de un segmento de mercado y cuya calidad diferencial pudo haberse originado en características genéticas y/o de manejo diferenciales. Esta idea surgió en la industria de maíz y se lo llamó VEC (*por sus siglas en inglés, Value Enhanced Corn*). Los materiales genéticos genéricamente denominados VEC incluyen= **maíz no transgénico; maíz waxy; maíz de alto contenido proteico; maíz con alta concentración de aceite; maíz con alta proporción de almidón extraíble; maíz azul; maíz blanco y cualquier maíz con mayor contenido de proteína, aceite y aminoácidos que los utilizados convencionalmente como materia prima de la industria alimentaria** (Fuente= USDA-IL Dept. of Ag Market News; [https://www.ams.usda.gov/mnreports/gx\\_gr118.txt](https://www.ams.usda.gov/mnreports/gx_gr118.txt)) (Smith et al., 2004).

En los últimos años se registra un crecimiento sostenido del mercado de maíces de uso especial (VEC) que tiene cada vez mayor influencia en las economías regionales y a nivel global dado el mayor beneficio que estos materiales proveen a la industria de la transformación. El maíz constituye la dieta principal en numerosas regiones del mundo.

Es imposible mejorar los beneficios para la salud de nuestras materias primas si primero no se conocen los nutrientes que las mismas contienen. El análisis químico juega un papel muy importante, tanto en el establecimiento y mantenimiento de la calidad de los alimentos como en la industria. El término “calidad” hace referencia al conjunto de propiedades inherentes a un objeto o materia prima que le confieren capacidad para satisfacer necesidades implícitas o explícitas. También puede indicar superioridad o excelencia, clase o condición. La calidad del grano de maíz refleja su composición química, variable en términos de contenido y/o calidad de proteínas, almidón o aceite. La constitución química del grano de maíz determina su textura, valor nutricional y propiedades tecnológicas. La calidad nutricional e integridad de los granos es influenciada por factores genéticos, del medio ambiente, técnicas de cultivo, manejo poscosecha y por los procesos de transformación empleados por la industria alimentaria.

Los granos de maíz convencional son muy ricos en carbohidratos pero también proveen proteínas, aceite y fibra. A partir de las proteínas, carbohidratos y aceite del grano de maíz es posible obtener una gran cantidad de productos destinados a la alimentación humana y animal, la industria aceitera, industria farmacéutica, textil, de adhesivos, bebidas espirituosas, biopolímeros, etc. Por lo tanto, aquellas variedades de maíz que sobresalen por el contenido y/o calidad de alguno de estos componentes químicos



(VEC) facilitan una mejor transformación en ingredientes y productos útiles otorgando en paralelo un mayor valor agregado al cultivo.

Aunque el grano de maíz provee macro y micro nutrientes primordiales para las necesidades metabólicas del ser humano, el contenido de algunos nutrientes esenciales es insuficiente o desequilibrado para quienes utilizan este cereal como alimento base. Por ejemplo, son deficitarios en vitaminas B y C así como en hierro y yodo. La zeína es la mayor proteína de reserva del grano y aunque rica en varios aminoácidos es deficiente en algunos esenciales como son lisina y triptófano resultando pobre desde una perspectiva nutricional. El grano de maíz es relativamente pobre en proteínas que se distribuyen principalmente en el endosperma. El contenido proteico fluctúa entre 6,0 a 15,0% y esta gran variabilidad se relaciona fundamentalmente con el genotipo y el ambiente de producción (Corcuera, 2012).

Mediante el proceso de molienda seca se obtienen harinas de maíz pero es conveniente acrecentar la cantidad y calidad de los macro y micro nutrientes para enmendar sus propiedades nutritivas. Esto puede lograrse a través de la fortificación exógena, por ejemplo agregando harina de soja o germen de maíz (Bressani & Elias, 1969; Barbieri & Casiraghi, 1983; Hernández et al., 1999). También existen antecedentes de fortificación del maíz procesado con pequeñas cantidades de proteínas y micronutrientes (Bressani & Marengo, 1963) que permitieron obtener productos de alto valor nutritivo y aceptabilidad. Sin embargo, la evolución de los paradigmas alimentarios, como toda expresión cultural, está registrando una demanda de productos más saludables, nutritivos y con menor utilización de aditivos-fortificantes. Para lograr estos objetivos, la fortificación endógena o biofortificación (Nuss & Tanumihardjo, 2010) se presenta como el modo más adecuado de optimizar la calidad nutricional del grano de maíz. Esta última vía implica la utilización de alguna de las siguientes estrategias para incrementar el contenido de lisina y/o triptófano en el grano: mejora genética convencional, caracterización de mutantes espontáneos, mutagénesis inducida y producción de plantas transgénicas (Azevedo et al., 2003; Huang et al., 2006). El desarrollo de estrategias que permitan mejorar el aporte nutricional de las proteínas del endosperma del grano de maíz constituye un objetivo prioritario en muchos países (Gibbon & Larkins, 2005; Kriz, 2009). El consumo de maíces de alta calidad proteica está recomendado para prevenir y corregir problemas de desnutrición en grupos de riesgo como lactantes y niños hasta 6 años, madres en gestación, ancianos, inmuno-suprimidos, etc. (Vivek et al., 2008).

El desarrollo de los híbridos modernos de maíz con elevado rendimiento, casi inadvertidamente, derivó en aumento del contenido de almidón del grano en detrimento de la proteína, generando así una reducción aún mayor de la calidad nutricional (Scott et al., 2006). El almidón representa las  $\frac{3}{4}$  partes del peso seco del grano y sus productos de hidrólisis constituyen la mayor parte de los carbohidratos digestibles de la dieta habitual proporcionando el 70 a 80% de las calorías (Martin y Smith, 1995; Schwab et al., 2003). Es un biopolímero renovable compuesto por un complejo homopolímero de  $\alpha$ -D-glucosa constituido por amilopectina y amilosa (Acosta et al., 2006). La amilosa es una larga cadena de  $\alpha$  1,4-D-glucopiranosidos con aproximadamente 1000 unidades de glucosa. La amilosa del maíz no es estrictamente lineal ya que contiene cerca de un 2% de residuos  $\alpha$  1,6-glucosídicos. La amilopectina, en cambio, está constituida por moléculas altamente ramificada de  $\alpha$ -D-glucopiranosidos unidas primariamente por puentes 1-4 con ramificaciones en uniones 1-6. (Whistler & Daniel, 1984; Fuwa et al., 1987). La calidad del almidón depende no sólo de la proporción de amilosa y amilopectina sino también de la estructura espacial

de cada una de éstas.

Los aceites vegetales son uno de los productos más valiosos en términos de fuente de energía, provisión de ácidos grasos esenciales, transportadores de vitaminas liposolubles y también como fuente de numerosos productos industriales. En el grano de maíz el aceite se encuentra mayoritariamente en su germen en un nivel comprendido entre 3,0-5,0% y se obtiene mediante molienda húmeda o seca (Paliwal, 2001; Corn Refiners Association, 2006; Orhun & Korkut, 2011). Debido a esta restricción de disponibilidad, junto a una elevada demanda, usualmente tiene mayor precio que el de soja en los puntos de venta comerciales. El valor y utilidad primaria de los aceites depende fuertemente de su composición en ácidos grasos (Downey & Mc Gregor, 1975) aunque en su composición también existen componentes menores como ácidos grasos libres, ceras, fosfolípidos, pigmentos y componentes aromáticos que deben ser removidos mediante refinamiento para alcanzar una calidad aceptable de producto comestible. Por consiguiente, el aceite refinado de maíz, es en un 98% triglicéridos. En éstos, los ácidos grasos saturados presentes son: palmítico (11%), esteárico (1,8%) y araquídico (0,2%). Los ácidos grasos insaturados presentes son el linoleico (60,9%), oleico (25,3%) y linolénico (1,1%). (Sprague & Dudley, 1988). Este aceite juega un rol importante en la dieta humana porque aporta gran cantidad de energía, ácidos grasos (AG) esenciales y vitamina E. Contribuye con AG poli-insaturados que favorecen el control de los niveles de colesterol y la disminución de la presión sanguínea.

En nuestro país, la empresa Renessen (resultante de un acuerdo entre Monsanto y Cargill) comercializó semilla de maíz con alto contenido de aceite bajo la denominación MAV durante 1999/2000 a 2007/2008 utilizando el sistema *Top-Cross*. El programa fue interrumpido durante la campaña 2007/08 debido a inconvenientes técnicos y financieros. En su momento, llegaron a cosecharse hasta 400.000 – 500.000 toneladas de estos granos cuyo destino principal fue la exportación a Chile, Malasia Colombia, Arabia Saudita y Ecuador. Actualmente, en Argentina no existen variedades ni híbridos comerciales de maíz ceroso (*waxy*) como tampoco existe oferta de maíces con alto contenido o calidad proteica ni alto contenido de aceite. Sin embargo, existen híbridos de maíz ceroso en México, Francia, Italia y Estados Unidos donde son cultivados exclusivamente con un fin de procesamiento industrial. También se cultivan maíces de alta calidad proteica en Brasil, Colombia, Guatemala, El Salvador, Venezuela, Ghana, Etiopía, Uganda, Tanzania, India, Vietnam, Surinam y China entre otros. La proteína de este tipo de maíz tiene un valor biológico equivalente al 90-96% de la caseína.

Hacia Febrero de 2015, la Bolsa de Comercio de Rosario había identificado en el país a 26 plantas de molienda seca con una capacidad operativa diaria del orden de las 1.107 toneladas. Hacia finales del año 2014, la Dirección de Mercados Agrícolas y la Dirección Nacional de Información y Mercados del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca estimó que el consumo nacional de maíz destinado a molienda seca era de 160.664 toneladas. Las cuatro principales fábricas que realizan molienda seca de maíz en nuestro país son la planta de Arcor S.A. (San Pedro, provincia de Buenos Aires; capacidad instalada= 360 tn/día); Rivara S.A. (Alberti, provincia de Buenos Aires; capacidad instalada= 130 tn/día); FyA. Basile S.A. (Chacabuco, provincia de Buenos Aires; capacidad instalada= 120 tn/día) y Grupo Alimenticio S.A. (Río Cuarto, provincia de Córdoba; capacidad instalada= 120 tn/día). En lo concerniente a la molienda húmeda, seis plantas operan activamente en este segmento. La capacidad de molienda diaria de las mismas asciende a 4.535 toneladas de maíz que se traduce en una capacidad instalada teórica anual de 1.360.000 toneladas de maíz. En Octubre de 2015, el MINAGRI informó que durante el año 2013 la molienda húmeda demandó 1.279.000 toneladas de maíz. Esto estaría evidenciando una utilización de la capacidad instalada bastante elevada en esta industria. A la fecha, hay cuatro plantas que tienen

una capacidad individual de molienda húmeda superior a las 1.000 toneladas/día (Glucovil, Va. Mercedes-S. Luis; Ingredion Argentina S.A., Chababuco y Baradero-Bs. As.; ARCOR S.A., Arroyito-Córdoba). Considerando en conjunto la molienda húmeda y la seca, la capacidad instalada de la molinería de maíz en nuestro país es superior a 1,7 millones de toneladas en el año. (FUENTE= <https://www.bcr.com.ar/Pages/Publicaciones/infoboletinsemanal.aspx?IdArticulo=1192>).

El objetivo de este trabajo ha sido determinar la calidad química del grano entero, harinas y aceites de diferentes híbridos experimentales de maíz con valor mejorado o biofortificados (VEC) y desarrollados en nuestro país con el propósito de ser utilizados como materia prima de la industria molinera y alimenticia.

## **2. MATERIAL Y MÉTODOS**

Los métodos o técnicas empleadas en el análisis de los alimentos pueden variar según la matriz bajo estudio. Los componentes de mayor importancia a analizar en un alimento son: humedad, grasa, proteínas, cenizas y carbohidratos.

### **2.1 Material Vegetal**

Se emplearon granos de maíz (*Zea mays ssp. mayz*) de dieciséis híbridos experimentales de maíz de uso especial o valor mejorado (VEC) junto a un híbrido que produce granos convencionales (ACA 2000) empleado como testigo. Los maíces con valor mejorado producen granos con almidón modificado (AM), con alta lisina (CP) o alta lisina y almidón modificado (DR). Estos materiales fueron obtenidos mediante técnicas convencionales de mejora genética que permiten introducir genes mutantes simples. En consecuencia, ninguno de ellos puede considerarse *transgénico*. Cada híbrido fue cultivado durante tres campañas agrícolas consecutivas (2011/12 a 2013/14) en el campo experimental del Instituto de Genética E.A. Favret, CICVyA INTA Castelar. La calidad diferencial del almidón y de la proteína se debe a la expresión de genes mutantes sencillos= 1) *Waxy*, favorece la síntesis de un almidón constituido por un 97 a 100% de amilopectina y 2) *Opaco-2* y *Opaco-5* cuya acción se traduce en la síntesis de proteínas ricas en lisina. En cada año de ensayo y de cada híbrido se reservó una muestra de 100 g que se mantuvo en heladera a 4 °C hasta el momento de realizar las diferentes determinaciones.

### **2.2 Análisis químico**

#### **2.2.1 No destructivo en laboratorio seco mediante infrarrojo cercano**

De cada híbrido, se tomaron muestras de 20 a 30 g de grano entero y sano correspondientes a cada año de cultivo. Las muestras se mezclaron y homogeneizaron antes de su análisis en el laboratorio seco de la empresa Monsanto (Fontezuela, Prov. de Bs. As.). Se utilizó un espectrofotómetro de infrarrojo cercano marca Foss modelo Infratec 1241 Grain Analyzer calibrado en el modo de transmitancia (NIRT). De esta forma pudieron determinarse múltiples parámetros (% *agua*, % *proteína*, % *aceite* y % *almidón*). Las moléculas orgánicas poseen patrones específicos de absorción en la región del infrarrojo que son útiles para reportar la composición química de los materiales analizados (William y Norris, 2001). La espectroscopia de infrarrojo cercano permite alcanzar resultados en pocos segundos con una significativa reducción de costos y horas de trabajo en comparación a los métodos analíticos de referencia que brindan resultados en mayor tiempo y con alto nivel de precisión por lo que conviene

utilizarlos para identificar materiales promisorios en etapas avanzadas del proceso de selección. La veracidad de los resultados obtenidos mediante la tecnología de espectroscopia de infrarrojo cercano está determinada normalmente por la comparación con los análisis químicos tradicionales realizados en el laboratorio húmedo. Actualmente, los análisis mediante infrarrojo cercano reemplazaron en gran medida a los análisis húmedos en la industria de alimentos. Este método está aprobado oficialmente en EE.UU., CEE, Federación Rusa, Bielorrusia, Japón, Australia, Kazajistán y Ucrania. También se lo considera, *-a escala global-*, como un estándar de referencia para la determinación del contenido de proteína, aceite, almidón y humedad en granos de cereales y oleaginosas.

## **2.2.2 Destructivo en laboratorio húmedo**

### **2.2.2.1 Determinación del contenido de lisina mediante espectrofotometría**

La concentración de lisina en los granos de los híbridos VEC fue estimada aplicando la técnica desarrollada por Beckwith *et al.* (1975). Además se utilizaron como testigos a la línea endogámica de maíz opáco-2 (alta lisina) CIG 18 y el híbrido convencional ACA 2000. De cada híbrido analizado previamente mediante NIRt se obtuvo harina de endosperma. Para ello, se tomaron treinta granos enteros que se remojaron durante doce horas para luego quitar su germen y pericarpio de forma manual. Los endospermas fueron molidos en un molinillo con cuchillas de acero hasta una granulometría de 80 mesh. Las harinas fueron tratadas con el reactivo de ninhidrina y luego analizadas en un espectrofotómetro. Se incluyeron modificaciones a la técnica original que consistieron en: incrementar el tiempo de centrifugado de diez a quince minutos; mayor tiempo en el baño termostático (35 minutos en lugar de 25); realización de una curva patrón de L-lisina para calibrar las lecturas del espectrofotómetro en el modo de absorbancia (D.O.) a 580 nm. A partir de los datos obtenidos con dicha curva se obtuvo la ecuación de la recta (*análisis de regresión*) que permitió calcular la concentración de lisina en las muestras analizadas mediante espectrofotometría. La preparación de la curva patrón y los análisis de las muestras fueron realizados en el Laboratorio Central de la Fac. de Cs. Agrarias-UNLZ con un espectrofotómetro Shimadzu UV-160 A.

### **2.2.2.2 Determinación del perfil de ácidos grasos**

Se realizó en doce de los híbridos analizados por NIR y se emplearon como testigos dos aceites comerciales comprados en góndola. De cada híbrido VEC se conservó una muestra de 60 g de granos a 4° C hasta la realización de los análisis. Los análisis de las muestras fueron realizados en el Laboratorio Químico de la Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Se extrajo el aceite mediante la técnica de Soxhlet y la grasa cruda fue utilizada como materia prima del análisis de ácidos grasos mediante cromatografía gaseosa. Se empleó un cromatógrafo Hewlett Packard 5890 Series II provisto con una columna capilar Agilent Technologies Inc. Cat 123-2332 Fase estacionaria DB-23. Las condiciones de análisis fueron: 1-temperatura inicial: 180° C; 2-Rampa de calentamiento a razón de 5 grados por minuto hasta alcanzar los 220 grados y 3-Mantenimiento de la temperatura de 230 grados hasta finalizar la corrida. Caudal: 1.6 ml/min. El perfil de AG de cada muestra se determinó mediante el método de área relativa. Se utilizó como control una mezcla patrón de ésteres metílicos de la firma Chem-Lab No. CL40.13762.0100 Low Erucic Rapeseed FAME mix (11C).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Análisis del grano entero mediante infrarrojo cercano

Las determinaciones de infrarrojo cercano por transmitancia (NIT) se realizaron sobre muestras de granos obtenidas mediante polinización controlada para evitar el efecto de *Xenia* que influye sobre la concentración de aceite del embrión. Se utilizó un equipo Foss Infratec 1241 Grain Analyzer (**Lámina 1**)

El maíz es la fuente energética por excelencia de las raciones dietarias de los animales pero también ampliamente utilizado en la elaboración de cereales, harinas y aceites para consumo humano.

En la **Tabla 1** y también en las **Láminas 2** y **3** se resume la caracterización química de diecisiete híbridos con valor mejorado (VEC) y uno convencional utilizado como testigo (ACA 2000).

**TABLA 1.** Análisis composicional del grano entero mediante tecnología de infrarrojo cercano no destructiva (NIRt).

HÍBRIDO	GRUPO	% ACEITE <sup>a</sup>	% PROTEÍNA <sup>a</sup>	% ALMIDÓN <sup>a</sup>	DENS. (g/cm <sup>3</sup> ) <sup>*</sup>
		Media ± d.s.	Media ± d.s.	Media ± d.s.	Media ± d.s.
HC49	AM	6,1 ± 0,2	10,8 ± 0,3	68,8 ± 0,5	1,277 ± 0,004
HC51	AM	6,0 ± 0,2	11,6 ± 0,8	68,3 ± 0,5	1,312 ± 0,002
HC52	AM	7,7 ± 0,6	10,1 ± 0,9	67,1 ± 1,1	1,243 ± 0,003
HC59	DR	5,8 ± 0,4	12,1 ± 1,3	68,8 ± 0,7	1,315 ± 0,01
HC64	DR	5,3 ± 0,4	11,8 ± 1,2	69,7 ± 0,7	1,333 ± 0,007
HC66	DR	5,1 ± 0,3	11,6 ± 1,1	69,3 ± 0,9	1,280 ± 0,004
HC67	DR	6,2 ± 0,1	9,9 ± 0,5	69,7 ± 0,5	1,262 ± 0,01
HC89	AM	6,1 ± 0,4	11,6 ± 0,9	68,2 ± 1,1	1,277 ± 0,003
HC143	DR	7,1 ± 0,2	11,2 ± 0,2	70,0 ± 0,1	1,240 ± 0,001
HC144	DR	7,0 ± 0,3	9,8 ± 0,1	71,6 ± 0,6	1,263 ± 0,04
HC316	AM	5,3 ± 0,1	11,2 ± 0,2	68,9 ± 0,2	1,284 ± 0,002
HC317	AM	5,7 ± 0,2	12,5 ± 0,1	67,6 ± 0,3	1,280 ± 0,003
HC318	AM	5,7 ± 0,1	11,2 ± 0,2	69,5 ± 0,4	1,285 ± 0,002
HC321	DR	5,3 ± 0,2	9,7 ± 0,2	70,4 ± 0,2	1,317 ± 0,006
HC322	CP	7,0 ± 0,1	8,7 ± 0,1	68,6 ± 0,1	1,200 ± 0,002
HC323	DR	5,7 ± 0,1	12,2 ± 0,1	68,4 ± 0,1	1,333 ± 0,003
ACA2000	Vítreo	5,7 ± 0,5	9,9 ± 0,7	70,1 ± 1,1	1,313 ± 0,009

<sup>a</sup>= sobre base seca (s.b.s.)

En relación al contenido graso del grano de maíz pueden encontrarse gran amplitud de valores en la bibliografía internacional. Sin embargo, existe consenso en que es relativamente bajo (3-5%) y se encuentra mayoritariamente en el germen. Por ejemplo, los análisis bromatológicos de los maíces comunes que se comercializan en el mercado mundial indican niveles del 3,0 a 3,5% (Dale, 1997) y que coinciden con el contenido medio de aceite de 3.4% reportado por Paliwal *et al.* (2001). Según los datos publicados por ILSI (Fuente: *ILSI Crop Composition Database version 2.0*; [www.cropcomposition.org](http://www.cropcomposition.org)) el contenido de aceite en el maíz fluctúa desde 1,74 a 5,56% y si se consideran solamente los maíces producidos en Argentina ese rango está en el

orden de 2,68 a 5,56%. Por su parte, MAIZAR (Asociación Maíz Argentino) informa que el contenido de aceite medido mediante NIR en 48 híbridos comerciales muestreados en la zona maicera núcleo y sudeste de la provincia de Buenos Aires (campaña 2004/05) varió entre 3,88 a 6,48%.

El maíz de alto aceite (HOC) contiene no sólo 1,5 a 2 veces más de aceite, sino también más alta calidad proteica que el maíz dentado normal, lo que le proporciona mayor valor energético, pudiendo reemplazar fuentes dietarias de grasas y proteínas de alto costo. Existen antecedentes de que su uso en alimentación animal resulta en un incremento de la tasa de ganancia diaria comparada con el maíz convencional.

Los resultados obtenidos revelan que el contenido de aceite de los híbridos VEC varía desde 5,1 - 7,7%. El U.S. Grains Council (1999) recomienda considerar únicamente como maíz de alto aceite (HOC, por sus siglas en inglés *High Oil Content*) a cualquiera cuyo contenido sea igual o superior a 6,0%. Siguiendo esta recomendación, es posible clasificar 8/16 híbridos VEC como HOC. Cuatro de éstos (HC52, HC143, HC144 y HC322) presentan una concentración particularmente elevada del macro nutriente analizado (*rango*= 7,0 - 7,7%). La media ambiental estimada para este componente en granos F<sub>2:3</sub> producidos por los híbridos VEC fue 6,1 ± 0,8 % (*rango*= 5,1 a 7,7%). Los resultados incluidos en la **Tabla 1** revelan que siete híbridos VEC tienen un contenido de aceite inferior o igual al determinado en el testigo ACA 2000. El contenido medio de aceite los híbridos productores de granos con almidón modificado (AM) fue 5,8 ± 0,3% y para los híbridos productores de granos proteína modificada (DR + CP) se calculó en 6,0 ± 0,8%. No se hallaron diferencias estadísticas significativas entre ambos grupos ( $\pm t_{Student}$  AM vs. DR + CP = 0,6).

En maíz, el porcentaje de proteínas en el grano entero muestra gran variabilidad según la fuente consultada, lo cual se relaciona fundamentalmente con la variedad analizada, el ambiente de producción y muestreo y con los factores de conversión de N en proteína. Los granos de este cereal son relativamente pobres en proteínas (8,0 a 11,0% del peso del grano entero) y se encuentran mayoritariamente en el endosperma (FAO, 1993). Según ILSI Argentina el contenido proteico medio del grano de maíz producido en Argentina es del 9,5% medido sobre 109 accesiones provenientes de las provincias de Buenos Aires y Córdoba y cultivadas entre 1999 a 2001. Ese valor medio coincide con el publicado en la base Argenfoods, Universidad Nacional de Lujan (2002). La Asociación Maíz Argentino (MAIZAR) informó un valor de 11,5% para materiales dentados y semidentados o de 11,9% para los tipos duros, vítreos o *Flint* al evaluar 48 híbridos comerciales en el norte y sudeste de la Provincia de Buenos Aires (Argentina) durante 2004/05 (Fuente: ILSI, *Serie de Informes especiales vol. II, Oct. 2006, pág. 52*). Los resultados de estos estudios evidencian que la media ambiental para contenido proteico correspondiente a granos F<sub>2:3</sub> de los híbridos VEC fue de 11,0 ± 1,1% (*rango*= 8,7 a 12,5%) y supera el nivel proteico del híbrido ACA 2000 utilizado como testigo. Los híbridos HC59, HC317 y HC323 presentan concentraciones de proteína en grano entero superiores al 12,0%. El contenido proteico medio de los híbridos VEC pertenecientes al grupo AM fue 11,5 ± 0,6% y para los híbridos productores de granos portadores de alelos recesivos opaco-2 (DR + CP) se calculó en 10,7 ± 1,3%. No se hallaron diferencias estadísticas significativas entre ambos grupos ( $\pm t_{Student}$  AM vs. DR+CP = 1,6).

Asimismo, los resultados de la **Tabla 1** revelan que la media ambiental para % almidón es 69,1 ± 1,1% para el conjunto de materiales VEC con valores extremos de 67,1 a 71,6%. Se destaca por una mayor concentración de este macro nutriente el híbrido HC144 con un nivel de 71,6%. Estos valores coinciden con los publicados por MAIZAR luego de evaluar mediante NIR 48 híbridos comerciales de la zona maicera núcleo y



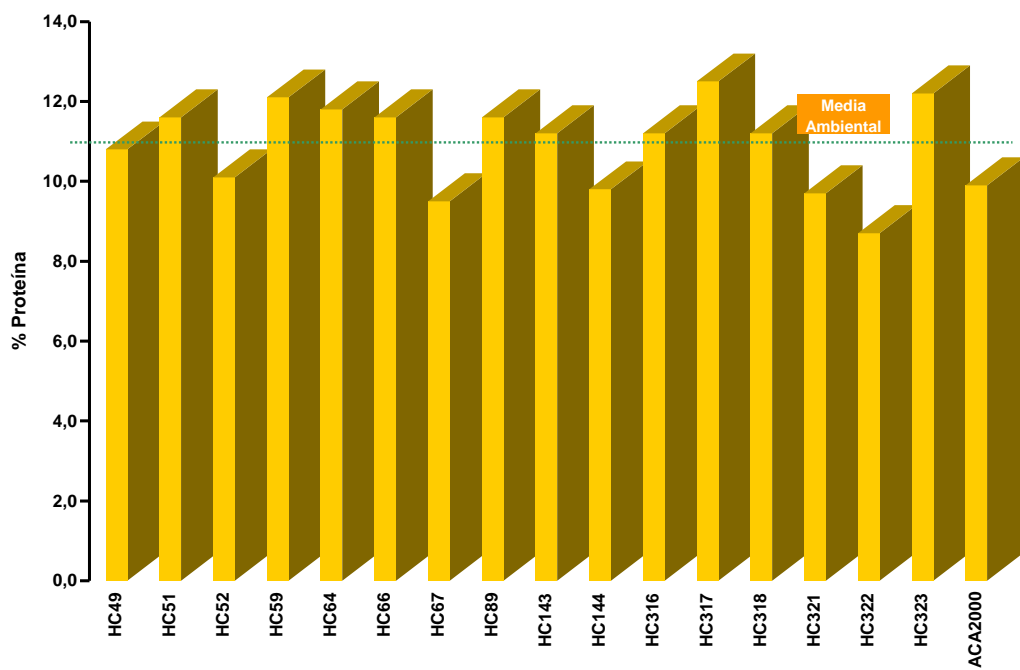
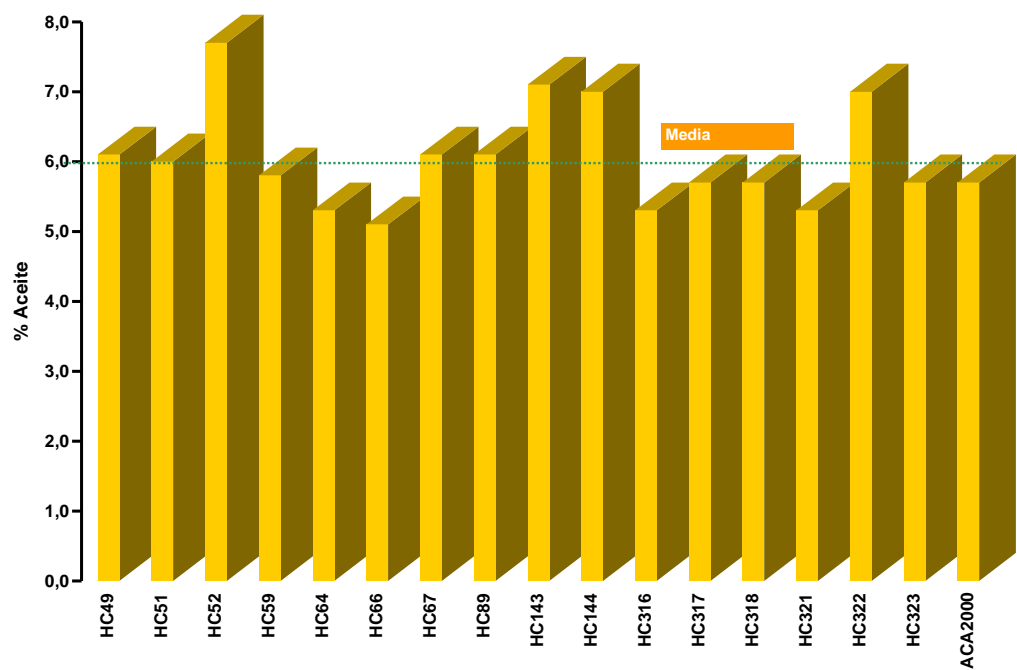
sudeste de Buenos Aires producidos en la campaña 2004/05 y con información publicada por INTA Pergamino en el Informe Técnico 320 del año 1999. El contenido medio de almidón de los híbridos incluidos en el grupo AM fue  $68,6 \pm 0,7\%$  y para los híbridos portadores de alelos recesivos del gen opaco-2 (DR + CP) se calculó en  $69,6 \pm 1,0\%$ . Se hallaron diferencias estadísticas significativas al nivel de probabilidad del 0,05% entre ambos grupos ( $\pm t_{\text{Student}} \text{ AM vs. DR + CP} = 2,3$ ).

La tecnología NIR también permitió determinar la densidad (g/cm<sup>3</sup>) de los granos producidos por cada híbrido. Los valores variaron desde 1,200 hasta 1,333 g/cm<sup>3</sup> como puede observarse en la **Tabla 1**. El valor medio de densidad para los híbridos incluidos en el grupo AM es  $1,286 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$  y para los materiales DR + CP es  $1,284 \pm 0,04 \text{ g/cm}^3$  y no se observan diferencias estadísticas entre ellos ( $\pm t_{\text{Student}} \text{ AM vs. DR + CP} = 0,1$ ).

**LÁMINA 1.** Evaluación de las muestras empleando un equipo de infrarrojo cercano.

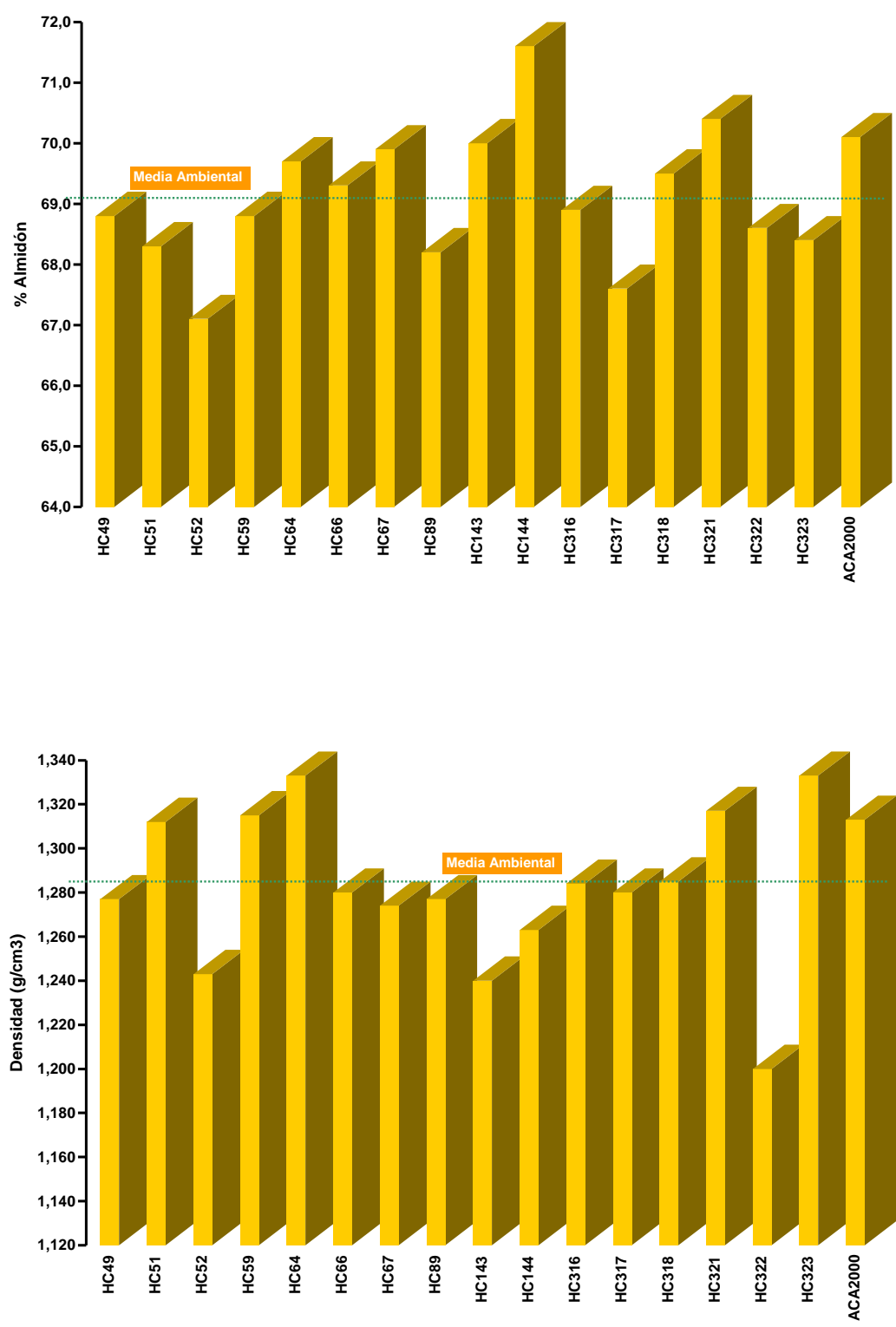


**LÁMINA 2.** Concentración de aceite y proteína de los híbridos VEC.





**LÁMINA 3.** Concentración de Almidón y Densidad del grano de los híbridos VEC.



**TABLA 2.** Valor de las correlaciones fenotípicas y su significancia entre los parámetros químicos y físicos del grano.

Contraste	<i>r</i>	$\pm t$ Student	<i>p</i> ≤
aceite-proteína	-0,51	-2,22	0,05
aceite-almidón	-0,12	-0,45	n.s.
aceite-densidad	-0,73	-4,00	0,01
proteína-almidón	-0,35	-1,40	n.s.
proteína-densidad	0,6	2,81	0,01
almidón-densidad	0,07	0,26	n.s.

El contenido de aceite, proteína y almidón son características correlacionadas (Dudley y Lambert, 1992, 2004; Narváez-González *et al.*, 2007). Por ejemplo, el grado de asociación entre contenido de aceite y proteína puede variar desde no significativo (Dorsey-Redding *et al.*, 1991; Sené *et al.*, 2001) hasta altamente significativo (Kóvacs-Schneider *et al.*, 1986; Song *et al.*, 1999) como citaron Mittelman *et al.* (2003).

En la **Tabla 2** se incluyeron los resultados correspondientes a las correlaciones fenotípicas ( $r_{\text{Pearson}}$ ) entre los diferentes macro-nutrientes presentes en el grano entero así como de éstos con la densidad. En los materiales analizados no se halló una asociación estadística significativa entre las concentraciones de aceite y almidón del grano ( $r = -0,12$ ;  $\pm t = -0,45$ ). Este resultado concuerda con otros reportados por Soderlund & Owens (2006), Saleem *et al.* (2008), Corcuera (2012) y Corcuera *et al.* (2011, 2012) aunque contradice los publicados por Wassom *et al.* (2008). Se encontró una relación positiva entre contenido de aceite y proteína tal como comunicaron Dorsey-Redding *et al.* (1991), Okporie & Oselebe (2007), Mittelman *et al.* (2003), Coutiño Estrada *et al.* (2008) y Corcuera (2012, 2013). Sin embargo, este resultado resulta opuesto a los obtenidos previamente en otro grupo de híbridos con valor mejorado (Corcuera *et al.*, 2016a y b) y con los reportados por Panthee *et al.* (2005) y Saleem *et al.* (2008). En los materiales estudiados, se halló una relación negativa entre contenido de proteína y almidón diferenciándose de los resultados alcanzados por Soderlund & Owens (2006) o Idikut *et al.* (2009). La densidad del grano muestra una relación negativa con el contenido de aceite coincidiendo con estudios realizados por Corcuera *et al.* (2016a y b).

### 3.2 Determinación del nivel de lisina en el endosperma del grano

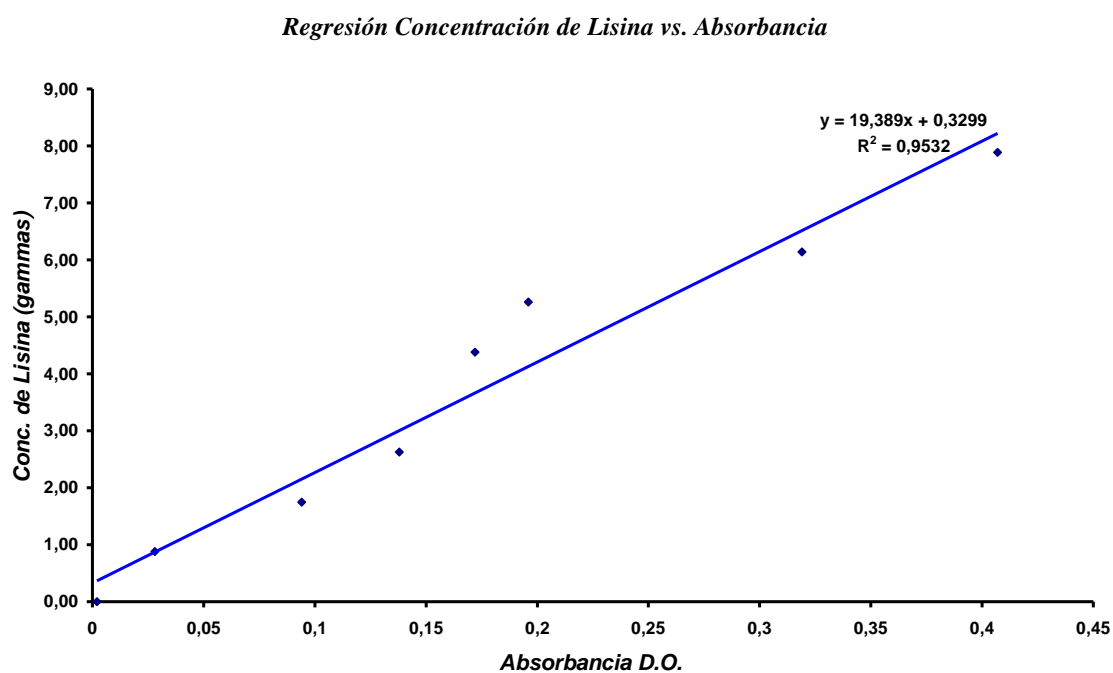
Se utilizó la técnica desarrollada por Beckwith *et al.* (1975) con la inclusión de algunas modificaciones. Entre ellas, se incluyó la realización de una curva patrón de L-lisina (**Tabla 3**) para calibrar las lecturas del espectrofotómetro en el modo de absorbancia (D.O.) a 580 nm. A partir de los datos obtenidos con dicha curva se obtuvo la ecuación de la recta (*análisis de regresión*) (**Gráfico 1**) que permitió más tarde calcular la concentración de lisina en las muestras incógnita procesadas y luego leídas en el espectrofotómetro (**Lámina 4**).

**Tabla 3.** Curva de calibración para determinar contenido de lisina en híbridos HC.

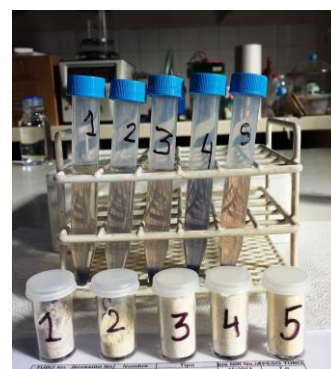
TUBO	A	B	ml AGUA	C	DMSO-AGUA	D	Vol. Total	Gammas	Absor. DO
1 -BLANCO	0,00000	0	2,40	1,0 ml	2,3 ml	0,0 ml	5,7	0,00	0,002
2	0,00088	50	2,15	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	0,88	0,028
3	0,00175	100	2,10	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	1,75	0,094
4	0,00263	150	2,05	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	2,63	0,138
6	0,00438	250	1,95	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	4,38	0,172
7	0,00526	300	1,90	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	5,26	0,196
8	0,00614	350	1,85	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	6,14	0,319
10	0,00789	450	1,75	1,0 ml	2,3 ml	0,2 ml	5,7	7,89	0,407

A= Concentración L-lisina (mg/ml); B=  $\mu$ L sn. patrón de L-lisina; C= ml reactivo de ninhidrina; D= ml de metabisulfito de sodio.

**Gráfico 1.** Curva de regresión absorbancia D.O. a 580 nm vs. conc. de L-lisina.



**LÁMINA 4.** *Determinación del contenido de lisina en el endosperma de los granos producidos por híbridos VEC mediante espectrofotometría.*



Desde el punto de vista nutricional, la calidad de las proteínas es relevante para su empleo en alimentación humana. En muchas partes de Asia, Oriente próximo, África y Latinoamérica, el 75% del requerimiento proteico diario es suplido mediante cereales. A través de la historia, el hombre seleccionó y domesticó cereales cuyos granos poseen alto contenido de proteínas de reserva o prolaminas (*arroz y avena, 5 a 15%; trigo y cebada, 30 a 40%; maíz y sorgo, 50 a 60%*) que son pobres en aminoácidos esenciales para el ser humano y animales no rumiantes y resultan de escaso valor nutricional.

El maíz constituye la dieta principal en numerosas regiones del mundo. La mayor proteína de reserva del endosperma del grano de maíz recibe el nombre de zeína y es rica en glutamina, prolina, alanina y leucina, pero deficiente en lisina y triptófano por lo que resulta pobre en un sentido nutricional (Coleman y Larkins, 1999). Aunque la proteína del germen posee un nivel adecuado de lisina (5,4%), en el grano entero esto se ve diluido por el abundante contenido de zeína (Coleman y Larkins, 1999; Kriz, 2009) que provoca que el maíz convencional tenga para este aminoácido una concentración inferior a la recomendada por FAO para nutrición humana (FAO/WHO/ONU, 1985). El adecuado balance en aminoácidos esenciales de los alimentos consumidos por el ser humano tiene especial significación nutricional. En relación con la nutrición animal, la lisina es el aminoácido más limitante del grano de maíz y los no rumiantes como cerdos y aves deben ser suplementados con este aminoácido cuando se emplea maíz como componente principal de su dieta (Huang *et al.*, 2006).

Mientras que el contenido proteico del grano de maíz es controlado por sistemas multigénicos, su calidad es regulada por distintos genes mutantes simples (*floury-2*, *opaco-5*, *opaco-7*, *rugoso-1*, *rugoso-4*, *azucarado-1*, *azucarado-2*, *amylose-extender*, *waxy*, *brilloso-1* y *brilloso-2*) que reducen la cantidad de prolaminas e incrementan la fracción rica en lisina. Lou *et al.* (1998, 2005), Huang *et al.* (2006), Wang y Larkins (2001) indicaron que la mutación *opaco-2* (*o2*) casi duplica el contenido de lisina en el endosperma al reducir el contenido de zeína e incrementar el nivel de otras proteínas ricas en lisina y aumentar también el contenido de aminoácidos libres (FAA). El incremento máximo en el nivel de lisina por acción del gen *opaco-2* depende fuertemente del fondo genético (Misra *et al.*, 1977; Wang y Larkins, 2001). La utilización directa de los alelos recesivos *opaco-2* tiene inconvenientes debido a los efectos pleiotrópicos del gen que afectan de manera indeseable a caracteres de importancia agronómica. Por ejemplo, condiciona una estructura blanda del endosperma, disminuye la densidad y peso del grano con la consecuente disminución del rendimiento, aumenta la susceptibilidad a plagas ,

enfermedades y genera dificultades durante el secado y almacenamiento (Ortega y Bates, 1983; Villegas *et al.*, 1992; Azevedo *et al.*, 2003; Lou *et al.*, 2005). A pesar de ello, existen antecedentes (Glover, 1976; Vasal *et al.*, 1979, 1980) de que algunos híbridos o poblaciones de maíz *opaco-2* pueden dar rindes similares al de sus contrapartes normales si se seleccionan genes favorables designados genéricamente como “*modificadores del opaco-2*” o “*modificadores de la dureza del endosperma*” que convierten el endosperma blando o harinoso a duro o vítreo con cierta reducción de la calidad proteica (Krivanek *et al.*, 2007). También se puede incorporar el gen *opaco-2* a materiales de grano vítreo mediante retrocruzamiento teniendo en cuenta que existe influencia materna en la expresión del contenido de lisina en el endosperma (Paulis *et al.*, 1993). Pero como también se observa *xenia* en relación a este carácter y el grado de dureza del endosperma (Sung, 1984) es importante prevenir la contaminación de los materiales de alta calidad proteica con polen foráneo en los cultivos comerciales ya sea mediante distanciamiento o evitando que coincidan las fechas de floración.

**TABLA 4.** Contenido de lisina en harinas del endosperma de híbridos VEC.

HÍBRIDO	GRUPO	Absorbancia DO 580 nm	% PB NIRt	% Lisina <sup>1</sup>
HC49	AM	0,156	10,8	2,1
HC51	AM	0,162	11,6	2,0
HC52	AM	0,107	10,1	1,6
HC59	DR	0,594	12,1	6,6
HC64	DR	0,253	11,8	3,0
HC66	DR	0,234	11,6	2,8
HC67	DR	0,492	9,9	6,7
HC89	AM	0,178	11,6	2,2
HC143	DR	0,240	11,2	3,0
HC144	DR	0,194	9,8	2,8
HC316	AM	0,138	11,2	1,8
HC317	AM	0,155	12,5	1,8
HC318	AM	0,188	11,2	2,4
HC321	DR	0,202	9,7	3,0
HC322	CP	0,409	8,7	6,4
HC323	DR	0,487	12,2	5,4
CIG32-T	CP	0,415	10,7	5,3
ACA 2000-T	Vítreo	0,109	9,9	1,7

<sup>1</sup> = calculado sobre harina de endosperma desgrasada.

Mediante la reacción de color con ninhidrina (**Tabla 4**) se determinó que la línea de alta calidad proteica CIG32 utilizada como testigo de estos estudios tiene 5,3 mg lisina/100 mg proteína. En cambio, en el híbrido ACA 2000 también empleado como testigo y que produce granos vítreos se determinó un nivel de 1,7 g lisina/100 mg proteína. En la misma Tabla pueden observarse los resultados de los análisis realizados en harinas de endosperma de los híbridos VEC. La media general del ensayo fue de  $3,3 \pm 1,8$  mg lisina/100 mg proteína (*rango= 1,6-6,7 mg lisina/100 mg proteína*). Además, el nivel de lisina detectado en algunos híbridos analizados (HC59, HC67, HC322 y HC323) *supera* el rango de valores publicados en la amplia bibliografía especializada sobre el tema que indica que la concentración de este aminoácido varía desde 1,5% a 2,7% en los maíces convencionales o entre 2,8% a 5,3% en materiales de alta calidad proteica (Barbosa *et al.*, 1978; Ortiz de Bertorelli, 1982; Magoja y Nivio, 1983; Magoja *et al.*, 1984; Moro *et al.*, 1996; Dale, 1997; Azevedo *et al.*, 2003; Mendoza-Elos *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2007; Krivanek *et al.*, 2007). Los resultados ponen en evidencia que el contenido de lisina duplica o puede incluso triplicar el correspondiente a materiales convencionales. Estos valores porcentuales se refieren a contenido de aminoácidos de la proteína total medida sobre harina de endosperma y equivalen a expresar el contenido de lisina bajo la forma de concentración (*mg aminoácido/100 mg proteína= mg aminoácido/16 g N; factor de conversión de N a proteína en maíz= 6,25*).

Se encontraron diferencias altamente significativas para concentración de lisina entre los grupos AM y DR + CP así como entre los híbridos con alta calidad proteica (DR + CP) y el testigo ACA 2000 pero no así entre éstos con el testigo recesivo no funcional para el gen opaco-2 (CIG32) (**Tabla 5**).

**TABLA 5.** Comparación de los niveles de lisina determinados en los distintos grupos de híbridos VEC y los materiales empleados como testigos.

$\pm t$ contraste	lisina
AM vs. DR + CP	3,0 **
AM vs. CIG32-T	18,5 **
AM vs. ACA2000-T	2,6 *
DR + CP vs. CIG32-T	1,5 ns
DR + CP vs. ACA2000-T	3,6 **

### 3.3 Determinación del perfil de ácidos grasos de los híbridos VEC mediante cromatografía de gases.

El aceite de maíz juega un rol importante en la dieta humana porque aporta gran cantidad de energía, ácidos grasos (AG) esenciales y vitamina E. Contribuye con AG poli-insaturados (PUFA) que favorecen el control de los niveles de colesterol y la disminución de la presión sanguínea. Es un aceite muy digerible que provee 9 Kcal/gramo. La FAO y la OMS recomiendan incorporar un 2 a 4% de la energía total bajo la forma de AG esenciales. La ingesta de una cucharada diaria de aceite de maíz sería suficiente para satisfacer los requerimientos diarios de AG esenciales de un niño o adulto con buen estado de salud.

La calidad del aceite de maíz comienza en el campo porque la semilla empleada, las condiciones de cultivo, el ambiente y el manejo post-cosecha influyen en la misma (Lambert, 2000). Los dos principales factores que afectan el perfil de ácidos grasos del aceite de maíz son el genotipo y el medio ambiente, pero probablemente el empleo de diferentes líneas parentales provocó el mayor cambio en la composición del aceite de maíz en las últimas décadas (Leibovitz y Ruckenstein, 1983; Weber, 1987 y Lambert, 2000). Por lo expuesto, resulta evidente que existe gran diversidad en la calidad de este aceite lo que genera disparidades notorias entre los datos publicados. Por ejemplo, según la FAO tiene reducido nivel de ácidos grasos saturados (SFA)= *ácido palmítico* y *esteárico* con niveles medios del 11% y 2% respectivamente y un elevado nivel de ácido linoleico con un promedio del 24%. En Argentina, la Secretaria de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA) en el año 2001 comunicó que la composición promedio de ácidos grasos para el maíz producido en el país es= 45,6% *ác. linoleico*; 37,2% *ác. oleico*; 0,6% *ác. linolénico*; 13,6% *ác. palmítico* y 1,7% de *ác. esteárico*. Estos valores fueron corroborados por la Asociación Argentina de Grasas y Aceites (ASAGA) en el año 2003 indicando además que los maíces argentinos tienen en promedio 16% de ácidos grasos saturados (SFA), 37% de ácidos monoinsaturados (MUFA) y 47% de ácidos poli-insaturados (PUFA). En cambio, datos publicados en el año 2006 por ILSI Argentina revelan que los maíces cultivados en nuestro país tienen el siguiente perfil de ácidos grasos= *ác. palmítico* (10,4-14,1%), *ác. esteárico* (1,5-2,7%), *ác. oleico* (21,1-40,1%), *ác. linoleico* (43,1-62,9%) y *ác. linolénico* (0,8-1,4%).

La información presentada en la **Tabla 6** indica que los híbridos HC estudiados tienen= 10,3 a 14,0% de *ác. palmítico*; 1,4 a 2,5% de *ác. esteárico*; 20,7% a 36,5% de *ác. oleico* Ω9; 46,3% a 61,6% de *ác. linoleico* Ω6 y 0,7% a 1,3% de *ác. linolénico* Ω3. El contenido medio de ácido palmítico resultó algo menor al indicado por ASAGA durante



el año 2003 y encaja dentro del rango de valores indicado por ILSI Argentina (2006). Algo similar ocurre con el nivel promedio de ácido esteárico, con la salvedad de que en este caso es ligeramente superior a los valores reportados por SAGPyA y ASAGA para materiales argentinos. En relación con el ácido oleico, linoleico y linolénico debe decirse que el nivel medio determinado en los híbridos VEC analizados encaja dentro del rango de valores reportado por ILSI Argentina (2006). Estos valores son consistentes con otros reportados en Argentina para otros materiales VEC (Corcuera, 2013, 2015; Corcuera *et al.*, 2013).

La genética y el medio ambiente son los dos factores principales que afectan el perfil de ácidos grasos del aceite de maíz. Izquierdo (2007) así como Alezones *et al.* (2010) señalaron que el aceite producido en zonas cálidas posee mayor contenido de ácido oleico que el obtenido en zonas de clima más fresco. Debe destacarse que las concentraciones de ácido oleico de estos maíces VEC son relativamente elevadas al compararlos con las indicadas por Lambert (2000) y reafirma expresiones de Eyherabide *et al.* (2005) en el sentido de que los materiales argentinos tienen mayor nivel de ácido oleico que otros desarrollados en el medio oeste de EE.UU. Los híbridos HC51, HC52, HC318 y HC322 tienen un contenido de ácido oleico que supera entre 0,9 a 4,8% al observado en los dos aceites comerciales utilizados como testigos.

Los niveles de ác. linoleico y ác. linolénico hallado en los materiales analizados tienen similitud con los reportados por Lambert (2000) para otro grupo de maíces comerciales. Además de los valores incluidos en la **Tabla 6**, en todos los híbridos VEC se detectó= 0,1% ác. margárico; 0,4 - 1,0% ác. araquídico y 0,3 - 0,5% ác. gadoleico. En los aceites comerciales utilizados como testigos (Cañuelas y Mazola) se halló= 0,1% ác. margárico y 0,5% ác. araquídico. Además, en los híbridos HC51, HC52, HC67, HC89, HC316, HC317, HC321, HC322 y HC324 se halló 0,1 - 0,2% ác. behénico mientras que los aceites comerciales Cañuelas y Mazola tienen un 0,3% del mismo ácido graso.

Al igual que en otros maíces cultivados en zonas templadas se halló un alto nivel de asociación negativa entre los niveles de ácido oleico y linoleico en los híbridos analizados ( $r = -0,95$ ;  $p \leq 0,01$ ) y en este sentido los resultados coinciden con Lambert (2000) y Wassom *et al.* (2008). En los híbridos VEC también se observó una asociación significativa entre las concentraciones de ác. esteárico y ác. oleico  $\Omega 9$  ( $r = 0,46$ ;  $p = 0,05$ ). También se encontró una alta correlación entre el contenido de ácido oleico y el nivel de aceite del grano en los híbridos VEC ( $r = 0,75$ ;  $p \leq 0,01$ ) del mismo modo que comunicaron Wassom *et al.* (2008). Por su parte, el porcentaje de ácido linoleico se correlacionó negativa y significativamente con el contenido de aceite del grano en los mismos materiales ( $r = -0,81$ ;  $p \leq 0,01$ ) del mismo modo que informaron Lofland *et al.* (1954) y Wassom *et al.* (2008).

Los ácidos linoleico y linolénico poseen propiedades antiartríticas, antiescleróticas, anti-inflamatorias e hipocolesterolímicas. Para un correcto funcionamiento del organismo es deseable que la relación  $\Omega 6/\Omega 3$  sea de 4:1 pero en maíz y otros aceites vegetales de importancia dicha razón aparece muy desequilibrada (Olivera Carrión, 2006). En los híbridos estudiados esa relación está sumamente alterada ( $\text{rango} = 44,0 - 76,1$ ) y podría derivar en enfermedad coronaria, diabetes, o depresión en caso de que sólo se consumiere aceite de maíz (Olivera Carrión, 2006). Sin embargo, la alta concentración de PUFA's (*linoleico y linolénico*) favorecería la reducción de la concentración sérica de colesterol y de la presión sanguínea, aunque no en igual proporción que la ingesta de ácido oleico según afirman numerosos estudios clínicos.

La relación normal entre ácidos grasos insaturados y saturados del aceite de maíz es de 6,7 (Fuente=<http://www.scientificpsychic.com/fitness/fattyacids1.html>) y los híbridos estudiados presentan para ese ratio un valor medio de 6,2 ( $\text{rango} = 5,3-7,1$ ) (**Tabla 6**).



Las grasas y aceites que tienen un valor de índice P/S (*poli-insaturados/saturados*) superior a 1 resultan de gran valor nutricional. Numerosos estudios demuestran que a mayor valor del índice P/S resulta menor la deposición de lípidos en el cuerpo (Lawton *et al.*, 2000). Todos los aceites extraídos de los híbridos ensayados presentan un índice P/S superior a 1 (*rango*= 3,1 – 4,8) y por este motivo los materiales analizados serían beneficiosos para consumo humano (**Tabla 6**).

En relación a la nutrición animal, puede decirse que utilizar maíz en altas proporciones para alimentar bovinos de carne afectaría de modo poco deseable el perfil de ácidos grasos de la carne porque tiene mayor contenido de ácido linoleico (omega-6) y oleico así como menor concentración de linolénico (omega-3) que las pasturas tradicionales empleadas en Argentina. Sin embargo, las diferencias que se observan obedecerían al nivel de inclusión en la dieta, así como al tiempo de suministro previo a la faena (Cortamira, 2006). Por último, debe resaltarse que el empleo de maíz en la dieta de aves ponedoras resulta favorable ya que determina un aumento en el tamaño de los huevos como consecuencia de su elevado contenido de ácido linoleico (Moraes y Vartorelli, 2006).

**Tabla 6.** Perfil de ácidos grasos y parámetros de calidad de los aceites aislados de híbridos VEC.

Híbrido	Grupo	AG Saturados		AG Insaturados			Parámetros de Calidad					
		Palmitico	Estearico	Oleico	Linoleico	Linolénico	∑ sat.	∑ insat.	∑ PUFA	IN:SAT	Ω6/Ω3	Índice P/S
HC49	AM	10,3	2,0	33,6	52,3	0,8	12,3	86,7	53,1	7,0	65,4	4,3
HC51	AM	10,3	1,8	34,6	51,1	0,7	12,1	86,4	51,8	7,1	73,0	4,3
HC52	AM	12,7	2,4	36,5	46,3	0,7	15,1	83,5	47,0	5,5	66,1	3,1
HC66	DR	14,0	1,7	20,7	61,6	0,9	15,7	83,2	62,5	5,3	68,4	4,0
HC67	DR	12,1	2,5	31,6	51,8	0,9	14,6	84,3	52,7	5,8	57,6	3,6
HC89	AM	12,9	2,3	31,4	51,7	0,7	15,2	83,8	52,4	5,5	73,9	3,4
HC316	AM	13,6	1,4	24,7	57,2	1,3	15,0	83,2	58,5	5,5	44,0	3,9
HC317	AM	10,3	2,0	32,6	53,3	0,7	12,3	86,6	54,0	7,0	76,1	4,4
HC318	AM	10,7	2,0	34,7	50,7	0,7	12,7	86,1	51,4	6,8	72,4	4,0
HC321	DR	12,4	2,2	29,2	53,0	0,7	14,6	82,9	53,7	5,7	75,7	3,7
HC322	CP	11,0	1,8	36,4	48,4	1,0	12,8	85,8	49,4	6,7	48,4	3,9
HC323	DR	10,6	1,9	26,5	58,7	1,0	12,5	86,2	59,7	6,9	58,7	4,8
T1-Cañuelas	Convenc.	11,4	1,9	31,7	52,5	1,0	13,3	85,2	53,5	6,4	52,5	4,0
T2-Mazola	Convenc.	9,9	2,3	33,3	51,9	0,9	12,2	86,1	52,8	7,1	57,7	4,3

#### 4. CONCLUSIONES

El maíz es un alimento muy importante para gran parte de la humanidad, -particularmente en los países en vías de desarrollo-, porque aporta una cantidad importante de calorías y nutrientes. La mejora genética vegetal contribuyó a incrementar la obtención de componentes nutricionales y a mejorar la eficiencia de su producción por unidad de superficie. Sin embargo, la búsqueda formal de mejorar la calidad nutricional para atender la demanda del mercado es relativamente reciente (Corcuera *et al.*, 2005).

Los industriales de la molienda húmeda de maíz muestran preferencia por lotes homogéneos de granos de maíz secados a baja temperaturas, con altos niveles de almidón y un contenido moderado de aceite. En cambio, los industriales de la molienda seca son proclives a elegir lotes de granos uniformes y con alta proporción de endosperma vidrioso, secados a baja temperatura. Por otra parte, los industriales productores de pienzos o alimentos balanceados necesitan altos contenidos de proteínas, aminoácidos, aceite y ácidos grasos. El maíz con alto contenido de aceite (superior a 6%) es el preferido por los productores de aves de corral, ganado lechero y cerdos porque su alto contenido calórico promueve una mayor ganancia diaria en peso (de hasta el 10%) por cada unidad de ración. De este modo se evitan costos derivados del agregado de grasas o aminoácidos a la dieta y se mantiene o incrementa la productividad de la operación.

En la **Tabla 7** se resumen las propiedades de los granos enteros de los híbridos VEC estudiados así como de las harinas y aceites extraídos de ellos. Los resultados indican que algunos híbridos producen granos con hasta= 12,5% de proteína; 7,7% de aceite y 71,6% de almidón. En concreto= 8/16 híbridos analizados tienen alto contenido de aceite; 9/16 harinas de endosperma procesadas a partir de los híbridos VEC presentaron una alta concentración de lisina que duplica e incluso triplica los valores normales; 6/16 tienen un nivel proteico superior a los valores normales hallados en la especie; 1/16 híbridos presenta una concentración de almidón relativamente elevada y 4 de los doce aceites analizados tienen una concentración de ácido oleico algo superior al aceites comercializados en el mercado. Al analizar la misma Tabla pero con mayor detalle debe destacarse que hay cinco híbridos que tienen una alta concentración de proteína y lisina de modo simultáneo, lo cual no es habitual (HC59, HC64, HC66, HC143 y HC323). Esto constituye una diferencia importante con otros materiales convencionales existentes en el mercado y caracterizados por elevados niveles de zeína deficiente en aminoácidos limitantes como lisina y triptófano. Asimismo, los resultados de estos estudios también permiten identificar a los híbridos HC51, HC52 y HC322 como materiales que sintetizan un alto contenido de aceite que contiene hasta casi un 5% más de ácido oleico que aceites comerciales muy conocidos en nuestro país. Sin embargo, para poder competir exitosamente con los aceites comerciales de alto oleico obtenidos a partir de cártamo, girasol, soja o colza su concentración de oleico debería ser incrementada de manera sustancial. En cuanto al contenido de almidón, los híbridos VEC analizados no difieren significativamente de los maíces de gran cultivo existentes en nuestro país. Con excepción del híbrido HC322, todos tienen incorporado el gen mutante recesivo *waxy* y producen un almidón modificado de alta amilopectina que en estado nativo puede ser empleado para elaborar espesantes y emulsionantes de alimentos o bien alimentos procesados como salsas, cremas, mezclas para tortas y/o budines instantáneos, etc.

**TABLA 7.** Resumen de la calidad química de los granos enteros, harinas y aceites correspondientes a diferentes híbridos de maíz con valor mejorado (VEC).

HÍBRIDO	GRUPO	% ACEITE <sup>a</sup>	% PROTEÍNA <sup>a</sup>	% ALMIDÓN <sup>a</sup>	% lisina <sup>b</sup>	% ác. oleico
		Media ± d.s.	Media ± d.s.	Media ± d.s.		
HC49	AM	ALTO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	33,6
HC51	AM	ALTO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	> TESTIGOS
HC52	AM	ALTO	NORMAL	NORMAL	NORMAL	> TESTIGOS
HC59	DR	NORMAL	ALTO	NORMAL	ALTO	S/D
HC64	DR	NORMAL	ALTO	NORMAL	ALTO	S/D
HC66	DR	NORMAL	ALTO	NORMAL	ALTO	< TESTIGOS
HC67	DR	ALTO	NORMAL	NORMAL	ALTO	< TESTIGOS
HC89	AM	ALTO	ALTO	NORMAL	NORMAL	< TESTIGOS
HC143	DR	ALTO	NORMAL	NORMAL	ALTO	S/D
HC144	DR	ALTO	NORMAL	ALTO	ALTO	S/D
HC316	AM	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	< TESTIGOS
HC317	AM	NORMAL	ALTO	NORMAL	NORMAL	< TESTIGOS
HC318	AM	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	> TESTIGOS
HC321	DR	NORMAL	NORMAL	NORMAL	ALTO	< TESTIGOS
HC322	CP	ALTO	NORMAL	NORMAL	ALTO	> TESTIGOS
HC323	DR	NORMAL	ALTO	NORMAL	ALTO	< TESTIGOS
ACA2000	Vítreo	NORMAL	NORMAL	NORMAL	NORMAL	S/D

<sup>a</sup> = calculado sobre base seca (s.b.s.)

<sup>b</sup> = estimado sobre harina de endosperma desgrasada.

El contenido y calidad de las proteínas y aceites de algunos de estos maíces biofortificados o con valor mejorado favorecen un alto valor nutricional. Las mazorcas de estos maíces de alta lisina y energía (alto aceite) pueden ser consumidos en forma directa mediante su hervido en agua y sus granos sueltos utilizados en sopas nutritivas. Estas modalidades de consumo garantizarían un buen estado nutricional sin alteración de los hábitos de consumo de la población. También se puede preparar un potage conocido como Ogi, Koko o Uji en los países africanos para lo cual se remojan y fermentan los granos, luego se muelen en húmedo hasta alcanzar un estado pastoso y se fermentan nuevamente. En este caso, sería necesario analizar el grado de aceptación del producto ya que no encaja dentro de los parámetros de consumo habituales de la población argentina. Estos usos directos del maíz VEC o biofortificado, en un esquema que puede rotularse como “del campo a la mesa” reducirían a bajo costo el “hambre oculta” o malnutrición de vastos sectores de nuestra sociedad y permitirían garantizar la seguridad alimentaria.

Los maíces incluidos en este estudio y que sobresalieron por el excepcional perfil químico de sus granos también pueden ser empleados como materia prima para desarrollar una amplia gama de productos con alto valor agregado en la industria alimentaria. Además, debe tenerse en cuenta que la tecnología de la molienda junto al uso de especies de *Lactobacillus* pueden resultar útiles para modificar la viscosidad en frío de las harinas

obtenidas y de este modo destinarlas a la preparación de productos específicos. Los granos de alta lisina pueden destinarse a la elaboración de sémolas de granulometría media, precocidas o no, aptas para consumo humano. Asimismo se pueden producir harinas de endosperma de granulometría fina o muy fina aptas para la elaboración de pan y otros panificables. Las harinas finas de maíz biofortificado pueden ser cocidas en agua hirviente para preparar un cereal de desayuno y como tienen un acentuado sabor a nuez y son ligeramente dulces el alimento preparado con ellas resulta más grato al sentido del gusto.

En relación a la nutrición animal, algunos investigadores sostienen que el maíz de alta lisina puede reemplazar al 50% de la harina de soja necesaria para las raciones de terminación de porcinos. En este sentido el maíz biofortificado con lisina representa una amenaza similar a la lisina sintética para el mercado de la harina de semillas oleaginosas destinadas a las raciones para cerdos. Los estudios incluidos en este Trabajo evidencian que los granos de los híbridos HC59, HC64, HC66 y HC323 tienen un alto contenido proteico y de lisina en simultáneo. Debido a ello, estos materiales pueden ser más ventajosos que el maíz convencional en alimentos para aves de corral y ganado. Sin embargo, no se puede soslayar que la producción de lisina sintética así como el empleo de harinas de carne, hueso y pescado en reemplazo de la soja como fuente proteica puede proveer este aminoácido a un costo inferior al de producir maíz de alta calidad proteica. Por supuesto, esto depende y varía con la coyuntura económica nacional e internacional así como con la factibilidad de desarrollar un conglomerado específico de semillas y agroindustria con capacidad exportadora.

## **5. AGRADECIMIENTOS**

*El Sr. Sergio Giménez y el Ing. Agr. Dr. Víctor R. Corcuera agradecen la desinteresada colaboración de los Sres. Daniel Osvaldo Alonso y Nicolás Gutiérrez del Laboratorio Central de la Fac. Cs. Agrarias-UNLZ por su colaboración con la realización de los análisis de lisina. También agradecemos al Ing. Agr. Guillermo Van Becelaere y al Sr. Ramiro Pellegrini Francavilla de la empresa Monsanto por permitirnos utilizar el equipo NIR en el Laboratorio de la Estación Experimental Fontezuela. Finalmente, vaya nuestro agradecimiento particular al Ing. Quím. Fernando Veyretou y su equipo del Laboratorio Químico de la Cámara Arbitral de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires por facilitar la extracción de los aceites y la realización de los estudios de cromatografía de gases.*

## BIBLIOGRAFÍA

Acosta HA, HS Villada, GA Torres, JA Ramírez. 2006. Morfología superficial de almidones termoplásticos agro de yuca y nativo de papa por microscopía óptica y de fuerza atómica. *Información Tecnológica* vol. 17(3): 63-70.

Alezones J, M Ávila, A Chassaigne, V Barrientos. 2010. Caracterización del perfil de ácidos grasos en granos de híbridos de maíz blanco cultivados en Venezuela. *Archivos Latinoam. de Nutrición* vol. 10(4):397-404.

Azevedo RA, C. Damerval, J Landry, PJ Lea, CM Bellato, LW Meinhardt, M Le Guilloux, S Delhay, AA Toro, SA Gaziola, BDA Berdejo. (2003). Regulation of maize lysine metabolism and endosperm protein synthesis by opaque and floury mutations. *Eur. J. Biochem.* 270:4898-4908.

Barbieri R, EM Casiraghi. 1983. Production of a food-grade flour from defatted corn germ meal. *J. Food Technol.* Vol. 18:33-38.

Barbosa HM, DV Glover. 1978. Protein and lysine content in double mutant endosperms of maize involving the *floury-2* gene. *Rev. Brasil. Genet. (Bras. J. Genetics)* 1. 4: 235-245.

Beckwith AC, JW Paulis, JS Wall. 1975. Direct estimation of lysine in corn (meals) by the ninhydrin color reaction. *J. Agric. and Food Chem* 23: 194 - 196.

Bressani R, E Marengo. 1963. The enrichment of lime-treated corn flour with proteins, lysine and tryptophan and vitamin. *J. Agr. Food Chem.* Vol. 6:517-522.

Bressani R, LG Elías. 1969. Studies on the use of Opaque-2 corn in vegetable protein-rich foods. *J. Agri. & Food Chem.* Vol. 17:659-662.

Coleman CE, BA Larkins. 1999. The prolamins of maize. En: P.R. Shewry, R. Casey (Eds.), *Seed proteins*, pp. 109-139, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Alemania.

Corcuera VR. 2003. Evaluación de caracteres de planta en híbridos simples de maíz ceroso con alta calidad proteica. XXIX Jornadas Argentinas de Botánica y XV Reunión Anual de la Sociedad Botánica de Chile, Huerta Grande, Córdoba, Argentina. *Bol. Soc. Argent. Bot.* vol. 38 (Supl.): 243. ISSN 0373-5

Corcuera VR, Fernández G, Salerno JC, Salmoral EM, Moreno-Ferrero V. 2011. Near-infrared analysis (NIRT) of value enhanced maize inbred kernels. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 85: 9-10, May 1, 2011. ISSN: 1090-4573, Division of Biological Sciences and Division of Plant Sciences, Univ. of Missouri, Columbia, Missouri, USA.

\_\_\_\_\_. 2012. Desarrollo y evaluación de nuevo germoplasma de maíz (*Zea mays* L.) para uso especial en Argentina. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y Medio Natural (ETSIAMN), Universidad Politécnica de Valencia, Valencia-España, 355 páginas.

Corcuera VR, Kandus MV, Salerno JC. 2012. Argentinean High Lysine and Modified Starch Corn Hybrids. II. Determination of the Grains Chemical Composition by Near-Infrared. *Maize Genetics Cooperation Newsletter* 86 on-line edition. ISSN: 1090-4573, Disponible en= <http://www.agron.missouri.edu/mnl/86/pdf/11corcuera.pdf>

\_\_\_\_\_. 2013. Mejora Genética del Maíz. Desarrollo de Híbridos de Uso Especial. (Uso de Descriptores Agronómicos, Químicos y Métodos Estadísticos aplicados al Análisis de Ensayos Multiambientales), 521 páginas. Ed. PUBLICIA, AV Akademikerverlag GmbH & Co. KG, Saarbrücken, Alemania. ISSN 978-3-639-5520

Corcuera VR, EM Salmoral, M Kandus, V Moreno-Ferrero, JC Salerno. 2013. Análisis Proximal del Grano de Maíces de Uso Especial. I. Contenido de Proteína, Almidón y Aceite. *Proceedings del XIV Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos, 5° Simposio Internacional de Nuevas Tecnologías/III Simposio Latinoamericano sobre Higiene y Calidad de Alimentos*, CD= archivos\_trabajos/890.pdf ISBN= 978-987-22165-5-9

Corcuera VR, Pennisi M., Kandus MV, Salerno JC. 2015. Composición Química del Grano de Maíces Especiales Desarrollados en Argentina para la Industria Alimentaria. *Proceedings del XV Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Ciudad de Buenos Aires, 3 al 5 de Noviembre de 2015.

Corcuera VR, EM Salmoral, M Pennisi, M Kandus, JC Salerno. 2016a. Análisis composicional cuanti-cualitativo de los macro nutrientes del grano de híbridos de maíz con valor mejorado (VEC) desarrollados para la industria alimentaria argentina. *Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental* Vol. 3(2), Facultad de Cs. Agrarias, UNLZ. ISSN 2451-7747.

Corcuera VR, Pennisi M, Kandus MV, Salerno JC. 2016b. Composición Química del Grano de Maíces Especiales Desarrollados en Argentina para la Industria Alimentaria. Trabajo completo publicado en revista *La Alimentación Latinoamericana*, edición 325, pags. 50-56, Editorial Publitec.

Cortamira O. 2006. Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de bovinos de carne. En: *Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal*, Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales, volumen II, pp. 28-31, Octubre de 2006.

Coutiño Estrada B, A Ortega Corona, VA Vidal Martínez, G Sánchez Grajalez, SI García Acuña. 2008. Selección recurrente para incrementar el contenido de aceite en maíz comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* vol. 31(Núm. Especial 3): 5-8.

Dale N.1997. Ingredient analysis table: 1997 edition. *Feedstuffs Reference Issue* vol. 69 (30): 24-31.

Dorsey-Redding CD, CR Jr. Hurburgh, LA Johnson, SR Fox. 1991. Relationships among maize quality factors. *Cer. Chem.* 68: 602-605.

Downey RK, DJ MC Gregor. 1975. Breeding for modified fatty acid composition. *Curr. Adv. Pl. Sci.* 12: 151-67.

Dudley JW, RJ Lambert, DE, IA de la Roche. 1977. Genetic analysis of crosses among corn strains divergently selected for percent oil and protein. *Crop Sci.* 17: 111-117;

Eyherabide GH, NM Percibaldi, FS Borrás, DA Presello. 2005. Mejoramiento de la calidad nutricional del aceite de maíz mediante el desarrollo y selección recurrente intrapoblacional. Proceedings del VIII Congreso Nacional de Maíz, 16 a 18 de Noviembre de 2005, Rosario, Argentina, pp: 336-339

FAO. 1993. *Maize in human nutrition*. 168 págs., Roma, Italia. ISBN= 9251030138

FAO/WHO/ONU. 1985. Energy and protein requirements. Report of a join

FAO/WHO/ONU expert consultation, *Technical report series* 724, WHO: Geneva  
Fuwa H, DV Glover, K Miyaura, N Inouchi, Y Konishi, Y Sushimoto. 1987. Chain length distribution of amylopectins of double and triple mutants containing the waxy gene in the inbred Oh 43 maize background. *Starch-Staercke* (1987) vol. 39 (9):295

Gibbon BC, BA Larkins. 2005. Molecular Genetic approaches to developing quality protein maize. *Trends Genet.* Vol. 21:227-233.

Glover DV. 1976. Improvement of protein quality in maize, En: H.L. Wilcke (Ed.), *Improving the nutrient quality of cereals II. Rep. Second Workshop on Breed. and Fortificatio*, pp. 69-97, U.S. Agency for Int. Dev., Washington, D.C.

Hernandez HH, LS Bates. 1969. A modified method for rapid tryptophan analysis of maize. *CIMMYT Res. Bull.* 13., CIMMYT, México D.F., México.

Huang S, A Frizzi, CA Florida, DE Kruger, MH Luethy. 2006. High lysine and high triptophan transgenic maize resulting from the reduction of both 19- and 22-kD  $\alpha$ -zeins. *Pl. Mol. Biol.* 61:525-535.



Idikut L, Al Atalay, SN Kara, A Kamalak. 2009. Effect of hybrid on protein, starch and yields of maize grain. *J. of Animal and Veterinary Advances*, 8 (10): 1945-1949.

ILSI Argentina. 2006. Perfil de la composición de la producción del maíz cultivado en la Argentina. *Serie de Informes Especiales de ILSI Argentina, Volumen II: Maíz y Nutrición*, pp: 53-61.

Izquierdo NG. 2007. Factores determinantes de la calidad de aceites en diversas especies. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, Argentina, 292 págs.

Kóvacs-Schneider M, A Bálint, I Geczki, G Kóvacs. 1986. Breeding maize for oil and protein content of the grain. *Novenytermeles* vol. 35(5): 383-389.

Krivanek AF, H De Groote, NS Gunaratna, AO Diallo, D Friesen. 2007. Breeding and disseminating quality protein maize (QPM) for Africa. *Afr. J. of Biotech.* 6(4): 312-324.

Kriz AL. 2009. Enhancement of amino acid availability in corn grain. En: T. Nagata, H. Lörz & J.H. Widholm (Eds.), *Molecular genetic approaches to maize improvement*, Biotechnology in Agriculture and Forestry Series, vol. 63, pp. 79-89, Springer Berlin Heidelberg, ISSN 0934- 943X.

Lambert RJ, 2000. High oil corn hybrids. En: A.R. Hallauer (Ed.) *Specialty corns*, 2da. ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 479 págs. ISBN: 0-8493-2377-0.

Lawton CL, Delargry HJ, Brockman J, Simith RC, Blundell JE. 2000. The degree of saturation of fatty acids influences in post ingestive satiety, *British J. of Nutrition*, vol. 83 (5), pp. 473 - 482.

Leibovitz Z, C Ruckenstein. 1983. Our experiences in processing maize (corn) germ oil. *J. Am. Oil Chemists´Soc.* 60: 395-399.

Lofland MB, FW Quackenbush, AM Brunson. 1954. Distribution of fatty acids in corn oil. *J. of the American Oil Chemists´Soc.* 31(10): 412-414.

Lou XY, J Zhu, QD Zhang, RC Zang, YB Chen. 1998. A genetic study on the effects of *opaque-2* and polygenes on kernel quality traits in maize. En: L.S. Chen, S.G. Ruan & J Zhu (Eds.) *Advances Topics in Biomathematics: Proceedings of the Int. Conference on Mathematical biology*, pp. 143-148, World Scientific Publishing Co, Singapore, China,

Magoja JL, AA Nivio, M Streitemberger. 1984. High-quality protein maize with normal genotype: lysine content of selected inbreds. *Maize Genets. Coop. Newslett.* 58: 121-122, Univ. of Missouri, USA.

Martin C, AM Smith. 1995. Starch biosynthesis. *The plant cell* (ON-LINE) vol. 7 (7) ISSN: 1059-152

Mendoza-Elos M, E Andrio Enríquez, JM Juárez Goiz, C Mosqueda Villagomez, L Latournerie Moreno, G Castañón-Nájera, A López Benítez, E Moreno

Martínez. 2006. Contenido de lisina y triptofano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia* vol. 22, No. 022, pp: 1543-161, ISSN: 0186-2979.

Misra PS, ET Mertz, DV Glover. 1977. Características de las proteínas que se encuentran en los mutantes endospermicos sencillo y doble del maíz. En: Maíz de alta calidad proteínica. Compendio de las ponencias presentadas en el Simposio Internacional CIMMYT-PURDUE, pp: 315-330, 1<sup>ra</sup> ed., Ed. Limusa, México.

Mittelman A, JB de Miranda Filho, GJ Mello Monteiro de Lima, C Hara-Klein, RT Tanaka. 2003. Potential of the ESA23B maize population for protein and oil content improvement. *Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.)* vol. 60(2): 319-327.

Moraes L., F. Vartorelli. 2006. Particularidades nutricionales del grano de maíz en la alimentación de aves. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales, volumen II, Octubre de 2006, pp: 39-41.

Moro GL, JE Habben, BR Hamaker, BA Larkins. 1996. Characterization of the variability in lysine content for normal and opaque 2 maize endosperm. *Crop Sci.* 36: 1651-1659.

Narváez-González ED, JD Figueroa, S Taba, E Castaño, RA Martínez-Peniche. 2007. Efecto del tamaño del gránulo de almidón de maíz en sus propiedades térmicas y de pastificado. *Rev. Fitotec. Mex.* 30:269-277.

Nivio AA. 1983. High-quality protein maize with normal genotype: Results after eight generations of selection. *Maize Genets. Coop. Newslett.* 57: 75-77, Univ. of Missouri, USA.

Nuss ET, Tanumihardjo SA. 2010). Maize: A Paramount Staple Crop in the Context of Global Nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* Vol. 9:417-436.

Okporie EO, HO Oselebe. 2007. Correlation of protein and oil contents with five agronomic characters in maize (*Zea mays* L.) after three cycles of reciprocal recurrent selection. *World J. of Agric. Sci.* 3(5):639-641.

Olivera Carrión M. 2006. Aporte nutricional de las principales formas de consumo del maíz en la alimentación humana. En: Maíz y Nutrición. Informe sobre los usos

y las propiedades nutricionales del maíz para la alimentación humana y animal. Recopilación de ILSI Argentina. Serie de Informes Especiales, volumen II, Octubre de 2006, pp: 56-62.

Ortega EI, LS Bates. 1983. Biochemical and agronomic studies of two modified hard endosperm *opaque-2* maize (*Zea mays*) populations. *Cereal Chem.* 60: 107-111.

Ortiz de Bertorelli L. 1982. Estudio comparativo de algunas características físicas, químicas y proteicas de los maíces Venezuela-1, Arichuna, Obregon y Venezuela-1 Opáco-2. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* XII(1-2):389-419.

Palacios-Rojas N, Twumasi-Afriyie S, Diallo AO. (2008). Mejoramiento de maíz con calidad de proteína. Protocolos para generar variedades QPM. México D.F., CIMMYT, 66 págs. ISBN= 9789706481641.

Paliwal RL. 2001. Mejoramiento del maíz con objetivos especiales. En: Marathée J.P. (Ed.) El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Colección FAO: Producción y protección vegetal-28, Roma, Italia. ISBN: 9253044578. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s20.htm#P0\\_0](http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s20.htm#P0_0)

Panthee DR, VR Pantalone, DR West, AM Saxton, CE Sams. 2005. Quantitative trait loci for seed protein and oil concentration, and seed size in soybean. *Crop Sci.* 45: 2015-2022.

Paulis JW, AJ Peplinsky, JA Bietz, TC Nelsen, RR Bergquist. 1993. Relation of kernel hardness and lysine to alcohol-soluble protein composition in quality protein maize hybrids. *J. Agric. Food Chem.* 41(12): 2249-2253.

Pereira RC, LC Davide, Pedrozo CA, Carneiro CP, Souza IRP, Paiva E. (2008). Relationship between structural and biochemical characteristics and texture of corn grains. *Genet. Mol. Res.* 7(2): 498-508.

Saleem M, M Ahsan, M Aslam, A Majeed. 2008. Comparative evaluation and correlation estimates for grain yield and quality attributes in maize. *Pak. J. Bot.* 40(6):2361-2367

Sánchez FC, Salinas, MY, Vázquez, CMG, Velázquez, CGA, Aguilar, GN. 2007. Efecto de las prolaminas del grano de maíz (*Zea mays* L.) sobre la textura de la tortilla. *ALAN Archivos Latinoam. de Nutr.* 57(3):295-301.

Schwab EC, RD Shaver, JG Lauer, JG Coors. 2003. Estimating silage energy value and milk yield to rank corn hybrids. *Animal Feed Sci. and Technology* 109: 1-18.

Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Pesca y Alimentos (SAGPyA) en el año 2001 datos publicados en el año 2006 por ILSI Argentina

Scott MP, JW Edwards, CP Bells, JR Schussler, JS Smith. 2006. Grain composition and amino acid content in maize cultivars representing 80 years of commercial maize varieties. *Maydica* 51: 417-423.

Smith WC, J Betrán, ECA Runge (Eds.). 2004. CORN. Origin, History, Technology, and Production. John Wiley & Sons Inc., New Jersey. ISBN 0-471-41184-1, 949 páginas.

Soderlund S, F Owens. 2006. Corn hybrid by processing method considerations. Proceedings of the Oklahoma State Univ. Cattle Grain Processing Symposium, pp. 62-72, Stillwater, University of Oklahoma.

Song TM, F Kong, CJ Li, GH Song. 1999. Eleven cycles of single kernel phenotypic recurrent selection for percent oil in Zhongzong no. 2 maize synthetic. *J. of Genetics and Breeding* 53: 31-35.

Sung TM. 1984. Xenia effects in modified endosperm texture opaque-2 maize. *Maize Genet. Coop. Newslett.* 58:22-23, Univ. of Missouri, USA.  
U.S. Grains Council. 1999. 1998-1999 Value-enhanced corn quality report. U.S. Grains Council, Washington D.C., USA.

Vasal SK, E Villegas, R Bauer. 1979. Present status of breeding quality protein maize. En: *Proc. Symp. On Seed Protein Improv. in Cereals and Grain Legumes*, pp. 127-48,

Whistler RL, JR Daniel. 1984. Molecular structure of starch. En: R.L. Whistler, J.N. BeMiller & E.F. Paschall (Eds.). *Starch: Chemistry and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed., pp. 153-82, Elsevier Science & Technology Books, New York, NY, USA, ISBN 0-127462-70-8.

Villegas E, Vasal SK, Bjamason M, Mertz ET. 1992. Quality protein maize-what is it and how was it developed. En: E.T. Mertz (Ed.) *Quality protein maize*, pp. 27-48, Am. Assoc. Cereal Chem., St. Paul, MN, USA. Vivek BS, Krivanek AF,

Vivek BS, AF Krivanek, N Palacios-Rojas, S Twumasi-Afriyie, AO Diallo. 2008. Mejoramiento de maíz con calidad de proteína. Protocolos para generar variedades QPM. México D.F., CIMMYT, 66 págs. ISBN= 9789706481641.

Wang XL, BA Larkins. 2001. Genetic analysis of amino acid accumulation in *opaque-2* maize endosperm. *Plant Physiol.* 125: 1766-1777.

Wassom JJ, JC Wong, E Martinez, JJ. King, J DeBaene, JR Hotchkiss, V Mikkilineni, MO Bohn, TR Rocheford. 2008. QTL associated with maize kernel oil, protein and starch concentrations; kernel mass; and grain yield in Illinois high oil x B73 backcross-derived lines. *Crop Sci.* 48: 243-252.

\_\_\_\_\_., V Mikkilineni, MO Bohn, TR Rocheford. 2008b. QTL for fatty acid composition of maize kernel oil in Illinois High Oil x B73 backcross-derived lines. *Crop Sci.* 48: 69-78.

Weber E. 1987. Lipids of the kernel. En: S.A. Watson & P.E. Ramstad (Eds.), *Corn Chemistry and Technology*, pp. 311-343, Am. Assoc. of Cereal Chemistry, St. Paul., MN, USA.

Williams P, K Norris. 2001. Near-Infrared technology in the Agricultural and Food Industries. 2nd. Edition, American Assoc. of Cereal Chemists Inc., St. Paul, MN, USA.