

Producción y procesamiento del maíz en Colombia*

Corn Processing and Production in Colombia

Carlos David Grande Tovar
Brigitte Sthepani Orozco Colonia

Resumen

El maíz se ha convertido en uno de los cereales más consumidos en el mundo. Es utilizado para la alimentación humana y animal y como materia prima en la producción de almidón industrial y alimenticio, en la elaboración de edulcorantes, dextrinas, aceite y otros productos derivados de su proceso de fermentación, como son el etanol, el alcohol industrial, el dióxido de carbono (CO₂), diversos aminoácidos, antibióticos y plásticos, y como sustituto del petróleo y sus derivados que son recursos no renovables. Para la obtención de estos productos se lleva a cabo un proceso de molienda húmeda que comprende una serie de etapas importantes para la producción de almidón y sus derivados. Esta exploración se relaciona con el origen, estructura, procesamiento y aplicaciones del maíz y algunos de sus derivados.

Palabras clave: industrialización del maíz, molienda, almidón.

Abstract

Corn has become one of the most worldwide consumed grains. It is primarily used for food and feed. Also, in order to replace the use of oil and its derivatives which are non-renewable resources, as raw material in the production of industrial and food starch, in the production of sweeteners, dextrin, oil and other byproducts of fermentation such as ethanol, industrial alcohol, carbon dioxide (CO₂), amino acids, antibiotics and plastics. To obtain these products, it is carried out a wet milling process which involves a series of important steps for the production of starch and its derivatives. This review is related to the origin, structure, and processing of corn and some of its applications derivatives.

Keywords: industrialization of corn, wet milling, starch.

• Fecha de recepción del artículo: 03-09-2012 • Fecha de aceptación: 12-12-2012

CARLOS D. GRANDE TOVAR. Químico. Doctor en Ciencias Químicas de la Universidad del Valle. Docente investigador tiempo completo del Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de San Buenaventura Cali, miembro del Grupo Biotecnología. Cali, Colombia. Correo electrónico: cdgrantovar@ubscali.edu.co. **BRIGITTE S. OROZCO COLONIA.** Estudiante investigadora de décimo semestre del Programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de San Buenaventura Cali, miembro del Grupo Biotecnología. Cali, Colombia. Correo electrónico: sthepani.colonia@gmail.com.

* Este artículo es una revisión bibliográfica no derivado de investigación, producto de la electiva de profundización en Aprovechamiento de Residuos II del programa de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de San Buenaventura Cali, 2012-2013. Se encuentra enmarcado dentro del proyecto "Aprovechamiento agroindustrial de subproductos del maíz", avalado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Buenaventura Cali.

Introducción

El maíz es considerado uno de los tres cereales más consumidos a nivel mundial junto con el trigo y el arroz. El nombre maíz se deriva de la palabra caribe-arahuaca *mahiz* (Purseglove, 1972).

La primera planta de maíz fue sembrada en el Valle de Tehuacán (México) hace 7.000 años (Brown *et al.*, 1986, p. 1; & Wilkes, 1989, p. 441), de donde se difundió hacia el norte en Canadá y hacia el sur en Argentina (Troyer & Brown, 1976, p. 767). El almidón de maíz fue producido por primera vez en Estados Unidos en 1844 (Minnesota Seed Law, 1939, pp. 80-92) y en la actualidad ese país es el mayor productor, consumidor y exportador de este cereal en el mundo (Ustarroz *et al.*, 2010, p. 3) (Tabla 1). Otra teoría plantea que los primeros cultivos de maíz fueron desarrollados por la cultura indígena del Perú y México y en Colombia se dieron en el Valle del Alto Magdalena y en la zona de San Agustín donde los indígenas cultivaban diferentes variedades conocidas hoy en día con los nombres de pira o reventón y de pollo (Fenalce, 2012, p. 1).

Tabla 1

Comparación de la producción mundial de maíz para el período 2009-2011 en millones de toneladas métricas

Producción	2009/10	2010/11
	Miles de toneladas métricas	
Argentina	23.300	22.000
Brasil	56.100	57.500
Canadá	9.561	11.714
China	158.000	173.000
Estados Unidos	332.549	316.165
EU-27	56.948	55.902
Filipinas	6.231	7.271
India	16.720	21.280
Indonesia	6.900	6.800
México	20.374	20.600
Nigeria	8.759	8.700
Rusia	3.963	3.075
Serbia	6.400	6.800
Sur África	13.420	12.000
Ucrania	10.486	11.919
Vietnam	4.607	5.000
Otros	79.125	84.239
Total mundial	813.443	823.965

Fuente: Asociación de Refinerías de Maíz (Corn Refiners Association), 2011.

La diversidad de orígenes de esta planta ha permitido su utilización en múltiples aplicaciones. El presente estudio muestra la importancia del maíz en la alimentación y como materia prima para la transformación del almidón en diferentes subproductos, básicos en las industrias papelera, textil, farmacéutica, de adhesivos, etc. Estas aplicaciones son de gran utilidad en nuestro país donde cada día se presentan nuevos y avanzados desarrollos en la industria, especialmente almidonera y de ingredientes naturales.

Descripción del maíz

El maíz (*Zea mays* L.) es un cereal perteneciente a la familia de las gramíneas o poáceas cuya descripción taxonómica (Tabla 2) corresponde a una especie monocotiledónea de crecimiento anual y un ciclo vegetativo muy amplio. De acuerdo con la variedad su desarrollo puede durar de 80 a 200 días, el cual empieza en la siembra y termina con la cosecha (Hogares Juveniles Campesinos, 2004, p. 922).

Tabla 2

Descripción taxonómica del maíz (*Zea mays* L.)

Taxonomía del maíz	
División	Macrophyllphyta
Subdivisión	Magnoliophytina
Clase	Nymphaespsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Zea mays</i> L.

Fuente: Socorro & Martín, 1989, p. 317.

Es una planta monoica, es decir, sus inflorescencias masculina (espiguilla) y femenina (elote, mazorca, choclo o espiga) se ubican en diferentes partes de la planta, lo que hace que su polinización sea cruzada (FAO, 1993, p. 2 & Fenalce, 2012, p. 2).

Estructura del grano del maíz

La FAO (1993, p. 3) define la planta de maíz como “un sistema metabólico cuyo producto final es, en lo fundamental, almidón depositado en unos órganos especializados: los granos”.

Figura 1
Maíz (*Zea mays L.*)



Fuente: Thomé, 1885, p. 691.

Dentro de los componentes o partes más importantes del maíz (Tabla 3) se encuentran:

Endospermo: conformado por almidón y gluten. Es el tejido que rodea el embrión y proporciona alimento para el crecimiento de la semilla (Dickerson, 2003, p. 1). Está compuesto por dos regiones bien definidas: el endospermo harinoso, de consistencia suave y apariencia opaca; representa el 34% del peso del endospermo y el endospermo córneo, de consistencia dura y de apariencia traslúcida; representa el 66% del peso del endospermo (González, 2009, p. 14) y está formado por células alargadas y de forma irregular (Ospina, 2001, p. 19).

Almidón: es una de las sustancias químicas de mayor valor comercial. Se ubica en el área lateral y superior de grano y conforma aproximadamente del 70% al 75% del grano (Troyer & Mascia, 1999, p. 56).

Gluten: Se ubica mayoritariamente en la parte superior del grano. Se caracteriza por presentar el mayor contenido de proteína (Weigel y otros, 2004, p. 2).

Gluten feed: Es un componente rico en fibra pero bajo en proteína. Se emplea para alimentación animal, especialmente ganado bovino (Ramírez *et al.*, 2008, p. 92), y está compuesto por un 60% de fibra y un 20% de proteína (White & Johnson, 2003, p. 467).

Gluten meal: tiene un alto contenido de proteína y una fracción baja de fibra. Es empleado en la alimentación de aves y cerdos y contiene normalmente un 60% de proteína y un 10% de humedad (Blanchard, 1992).

Germen: es el embrión del maíz. Se encuentra en la parte inferior media del grano y representa el 7% del grano (USDA, 2006, p. 2). El germen contiene altos niveles de aceite (aproximadamente el 30%) (Troyer, 1991, p. 165).

Pericarpio: Conocido también como cascarilla. Recubre el grano y ocupa aproximadamente el 23% de este (USDA, 2006, p. 2). Se caracteriza por estar compuesto principalmente de un 40% de celulosa y un 40% de pentoglican (González, 2009, p. 19).

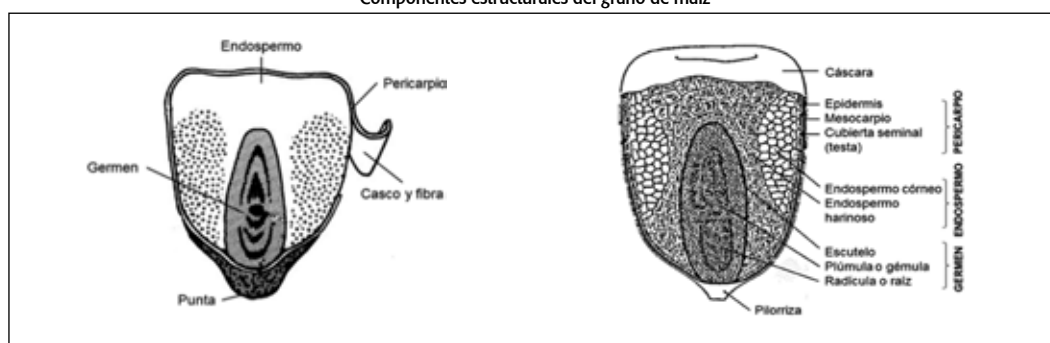
Tabla 3

Componentes estructurales del grano de maíz (% en base seca)

Parámetro	A	B
Endospermo	82,9	70
Germen	11,1	7
Pericarpio	5,3	23 ¹
Punta	0,8	

Fuentes: A: González, 2009, p. 15; B: USDA, 2006, p. 2.

Figura 2
Componentes estructurales del grano de maíz



Fuentes: A: Shukla & Cheryan, 2001, p. 172. B: Wolf *et al.*, 1990, pp. 321-332; & Wolf *et al.*, 1969, pp. 253-263.

¹ Dentro de su composición se encuentra agrupada la fibra y la punta.

Tabla 4
Distribución de los principales componentes del grano de maíz

Composición	Grano entero (%)	Componentes en bases seca (%)			
		Endospermo	Germen	Pericarpio	Punta
Almidón	62.0	87.0	8.3	7.3	5.3
Proteína	7.8	8.0	18.4	3.7	9.1
Aceite	3.8	0.8	33.2	1.0	3.8
Ceniza	1.2	0.3	10.5	0.8	1.6
Otros ¹	10.2	3.9	29.6	87.2	80.2
Agua	15.0	-	-	-	-

Fuentes: Shukla & Cheryan, 2001, p. 172; Watson & Ramstad, 1987.

Como se puede observar, dentro de la distribución de los principales componentes (Tabla 4) el almidón es el componente mayoritario del grano (de ahí sus múltiples aplicaciones) y se encuentra principalmente en el endospermo. La proteína del maíz, también conocida como *zein*, se encuentra en el germen al igual que el aceite. El pericarpio se diferencia por su alto contenido de material fibroso.

El cultivo del maíz

El maíz es una planta C4 con una alta tasa de actividad fotosintética (Aldrich y otros, 1975) y se origina en ambiente tropical (Hollinger & Angel, 2009, p. 1). Las pocas condiciones requeridas para su cultivo entre las cuales se destacan el ciclo de reproducción, la luminosidad, la temperatura y la humedad, entre otras, permiten su crecimiento y desarrollo en diferentes regiones geográficas (Tabla 5).

Tipos de cultivo en Colombia

Cultivo tradicional: utiliza genotipos criollos, alto empleo de mano de obra y muy poco uso de agroquímicos (Campuzano & Navas, 2006, p. 18).

En Colombia el cultivo predominante es el tradicional y es practicado en granjas, haciendas o pequeñas extensiones de tierra. Se emplean semillas no certificadas cuyo rendimiento promedio nacional pasó de 1.6 ton/h en el 2000 a 1.5 ton/h en el 2010 (Gráfica 1) y es dirigido en su mayoría

2. Incluyen fibra, azúcares, ácido fítico, entre otras.

Tabla 5

Condiciones edafo-climáticas requeridas para el cultivo del maíz

Parámetro	Descripción
Ciclo reproductivo ^A	Semestral
Incidencia de luz solar ^A	Alta
Pluviometría ^A	40-65cm ³
Temperatura ^B	32-35°C (humedad alta)
	27-30°C (humedad normal)
	20-27°C (humedad baja)
pH del suelo ^B	5.5-7.5
Riego ^C	1600-2000m ³ /ha (siembra – inicio floración)
	1400-1750m ³ /ha (durante floración – formación de granos)
	600-1260m ³ /ha (desarrollo y crecimiento del grano)
Nutrientes ^C	Nitrógeno: 100-150Kg/ha
	Fósforo: 60-100Kg/ha
	Potasio: 100-180Kg/ha

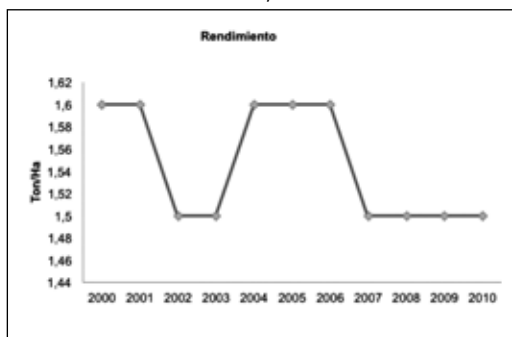
Fuentes: A: Duván, 2009, p. 2; B: Leonard, 1981, p. 41; C: Rabí *et al.*, 2001, p. 8.

al autoconsumo. A pesar del aumento en la producción gracias a las mejoras en el rendimiento, este no fue significativo debido a que el número de semillas cultivadas no se incrementó. En este tipo de cultivo las condiciones ambientales son mínimas e incluyen suelos poco fértiles y bajas de precipitaciones. Los cultivadores casi no usan semillas mejoradas ni agroquímicos y su insuficiente mecanización no permite obtener mejores rendimientos (Fenalce, 2010, p. 12).

Cultivo tecnificado: también llamado “cultivo mecanizado” emplea agroquímicos y diversa maquinaria agrícola para la recolección y el procesa-

Gráfica 1

Rendimiento de la producción de maíz tradicional en Colombia, 2000-2010

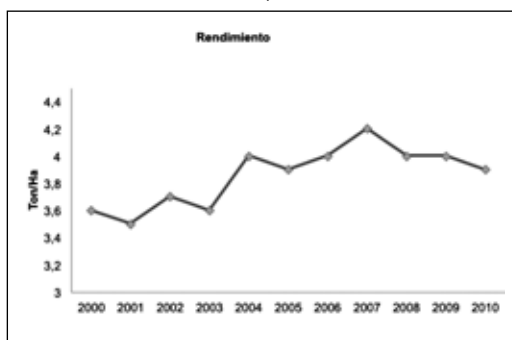


Fuente: Agronet, 2011.

miento del maíz, como sembradoras, recolectores y trituradoras, entre otras (Fussell, 1992, p. 144). Se caracteriza por el uso de semillas certificadas y su práctica se lleva a cabo en extensiones de tierra relativamente grandes. Su rendimiento promedio nacional pasó de 3.6 ton/h en el 2000 a 3.9 ton/h en el 2010 (Gráfica 2). Este cultivo es dirigido en su mayoría a la producción de alimentos balanceados para animales.

Gráfica 2

Rendimiento de la producción de maíz tecnificado en Colombia, 2000-2010



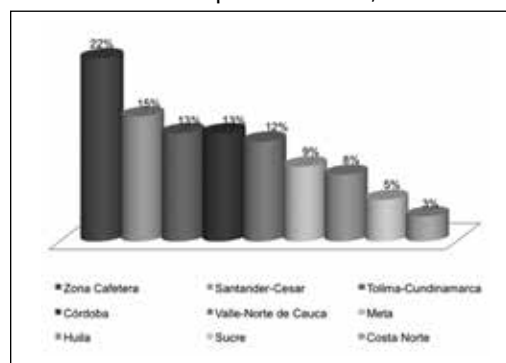
Fuente: Agronet, 2011.

La distribución de la producción nacional (Gráfica 3) muestra una alta participación de la zona cafetera y los departamentos de Santander, Cesar, Tolima, Cundinamarca y Córdoba.

La producción en Colombia no satisface la gran demanda nacional, lo que conlleva importar anualmente grandes cantidades de maíz (amarillo en su mayoría). En el año 2011 la cantidad importada fue de 2.703.920 toneladas comparada con 1.110.874 toneladas producidas en el país (Méndez y otros, 2012, p. 22).

Gráfica 3

Localización de la producción nacional, año 2010.

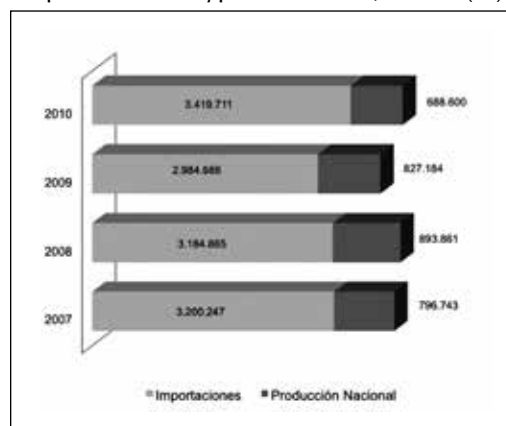


Fuente: MADR-FENALCE, 2011.

En el año 2010 el consumo total de maíz fue de 4.053.223 toneladas y se satisface en un 85 % con importaciones y en un 15 % con la producción nacional. En el mismo año la producción fue 4.108.311 toneladas (Gráfica 4).

Gráfica 4

Importaciones de maíz y producción nacional, 2007-2010 (ton)



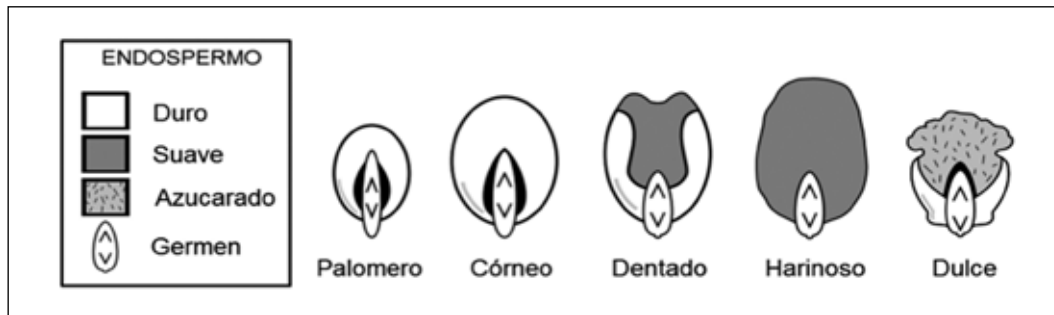
Fuente: DIAN – Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2011.

De aquí surge la necesidad de empezar un proceso de tecnificación y fomento de la producción nacional competitiva que comience con la mejora o certificación de la semilla hasta la obtención de una gran variedad de productos y derivados provenientes de la molienda húmeda del grano (Dane, 2004, p. 2).

Clasificación estructural del maíz

Estas características están dadas por la calidad y los usos y dependen esencialmente de la composición del endospermo (Figura 3).

Figura 3
Distribución del endospermo en cinco tipos de maíz



Fuente: Dickerson, 2003: 1.

Tipos y características estructurales del maíz

Maíz harinoso: compuesto casi exclusivamente de un almidón muy blando (Paliwal, 2001, pp. 39-40). Predomina en la región andina de América del Sur y en México (Brown *et al.*, 1986, p. 4). Representa entre el 10 % y el 12 % de la producción mundial (Silva, 2005, p. 8).

Maíz dentado: compuesto de almidón blando y almidón duro a los costados del grano. Cuando este se comienza a secar, el almidón blando se contrae y produce una pequeña depresión con apariencia de diente. Es cultivado especialmente para grano y ensilaje (Paliwal, 2001, pp. 39-40) y se emplea principalmente en la alimentación animal (Brown *et al.*, 1986, p. 4).

Maíz Flint (duro o corneo): los granos son redondos, duros y suaves al tacto. Está constituido especialmente por endospermo córneo, es de madurez temprana y seca más rápidamente. Es el preferido para alimento humano y producción de fécula de maíz (Paliwal, 2001, pp. 39-40). También se utiliza en la molienda seca para la

producción de hojuelas o cereales para el desayuno (Ustarroz *et al.*, 2010, p. 8).

Maíz cristalino: sus granos son lisos y redondos. Contiene una gruesa capa de endospermo cristalino que cubre un centro harinoso (González, 2009, p. 22).

Maíz reventón (palomero): posee un endospermo córneo muy duro y una pequeña porción de almidón suave (Brown *et al.*, 1986, p. 4). Los granos pueden ser tipo perla (redondeados) o tipo arroz (puntiagudos) y cuando se calientan la humedad se convierte en vapor que se expande, los granos se revientan y el endospermo aflora (Dickerson, 2003, p. 3). Se consume como golosina en forma de palomitas de maíz (Paliwal, 2001, pp. 39-40).

Clasificación comercial del maíz

Dentro de los tipos de maíz más cultivados y distribuidos a nivel mundial están aquellos que se emplean comúnmente en el sector (Tabla 7).

Tabla 6
Composición química general de distintos tipos de maíz (%)

Tipo	Humedad	Cenizas	Proteínas	Fibra cruda	Extracto etéreo	Carbohidratos
Cristalino	10.5	1.7	10.3	2.2	5.0	70.3
Harinoso	9.6	1.7	10.7	2.2	5.4	70.4
Amiláceo	11.2	2.9	9.1	1.8	2.2	72.8
Dulce	9.5	1.5	12.9	2.9	3.9	69.3
Palomero	10.4	1.7	13.7	2.5	5.7	66.0

Fuente: Cortez & Wild-Altamirano, 1972.

Tabla 7
Tipos y características comerciales de maíz

Tipo	Característica
Maíz blanco	Formado por granos blancos que pueden contener hasta un 2 % de otros colores. El color paja o rosa debe cubrir menos del 50 % del grano.
Maíz amarillo	Formado por granos amarillos que pueden contener hasta 5 % de otros colores. El color rojo debe cubrir menos del 5 0% del grano.
Maíz mezclado 1	Maíz blanco que contiene entre 5.1 % y un 10 % de maíces amarillos y viceversa, ambos sin sobrepasar el 5 % de maíces oscuros.
Maíz mezclado 2	Maíces blancos que representan más del 10% de maíces amarillos y viceversa, ambos sin sobrepasar el 5 % de maíces oscuros.
Maíz pinto	Maíz blanco, amarillo y mezclado que contiene más del 5 % de maíces oscuros (rojo, azul y morado).

Fuente: González, 2009, p. 20-21

Calidad del grano del maíz

Para evaluar la calidad del grano del maíz es importante mencionar que el resultado final dependerá en gran medida de las operaciones de cultivo, del clima, de los suelos y del manejo de la cosecha y la poscosecha, factores que influyen de manera considerable en la estructura y composición final del maíz y son relevantes al momento de seleccionar el grano que va a ser destinado a la industrialización (Robutti, 2008, p. 100). Entre las características cualitativas más relevantes del maíz tenemos:

Humedad. Influye de manera importante en los procesos de almacenamiento y comercialización del grano y sobre todo en sus costos. Si el maíz se encuentra muy húmedo generará problemas en el almacenamiento por contaminación y su textura se tornará blanda provocando con ello su deterioro. Por el contrario, si el maíz se encuentra muy seco tenderá a romperse o a quebrarse. El valor de humedad más aceptado para la comercialización del grano se sitúa alrededor del 15.5 % (FAO, 1993, p. 5).

Dureza. Esta característica es muy importante debido a que la dureza endospermica le confiere resistencia mecánica al maíz, lo cual es determi-

nante en el proceso de molienda (Robutti, 2008, p. 100). A pesar de que la dureza del grano está dada por su genética, se pueden utilizar en métodos u operaciones de mejoramiento de los cultivos y de manipulación del grano al momento de ser cosechado (Pomeranz & otros; 1984, 1985 y 1986). La dureza obedece a diferentes interacciones del almidón con las proteínas lo cual se observa en la diferencia existente entre el endospermo harinoso y el córneo (Ver Figuras 2 y 3), consistente en que el grado de adhesión entre la molécula de almidón y la proteína es mayor en el endospermo córneo que en el harinoso (Robutti, 2008, p. 100).

Inocuidad. Esta característica es fundamental en todos los aspectos de la cadena de valor agregado del maíz. Mantener las condiciones adecuadas de limpieza, control, desinfección e inspección; para evitar la propagación de microorganismos patógenos como los hongos.

Industrialización del maíz

Uno de los acontecimientos más trascendentales en el procesamiento del maíz se dio en Estados Unidos, cuando se instaló en 1844 y por primera vez una planta para refinar el grano. En un comienzo, el almidón era el principal y único producto elaborado, pero con el tiempo se avanzó hasta llegar a la producción de dextrosa (González, 2009, p. 27). Este crecimiento permitió a las refinerías desarrollar sus procesos a un ritmo acelerado, lo que trajo consigo el florecimiento de un proceso amplio de molienda húmeda que mejoró notablemente la calidad de los productos.

Para la extracción y procesamiento de los productos derivados del maíz existen dos métodos, a saber, la molienda seca y la molienda húmeda.

Molienda seca

La molienda seca es practicada de forma artesanal y fue la primera técnica aplicada por diversas culturas para la obtención de productos derivados del maíz, las cuales se encargaron de introducir y aclimatar la planta en sus regiones. Sus principales productos eran la harina (o sémola de maíz molido) para la elaboración de arepas. También se utilizó en la fabricación de bebidas, alimentos y cereales (FAO, 1993, p. 6).

Molienda húmeda

Es un proceso empleado por grandes industrias para la obtención de almidón principalmente, aunque de igual modo se obtienen muchos derivados durante el proceso. A diferencia de la molienda seca emplea aguas de cocimiento en condiciones controladas con el fin de ablandar el grano (FAO, 1993, p. 6). Es un proceso complejo en el cual se separan los componentes por medios físicos y químicos (Robutti, 2008, p. 103).

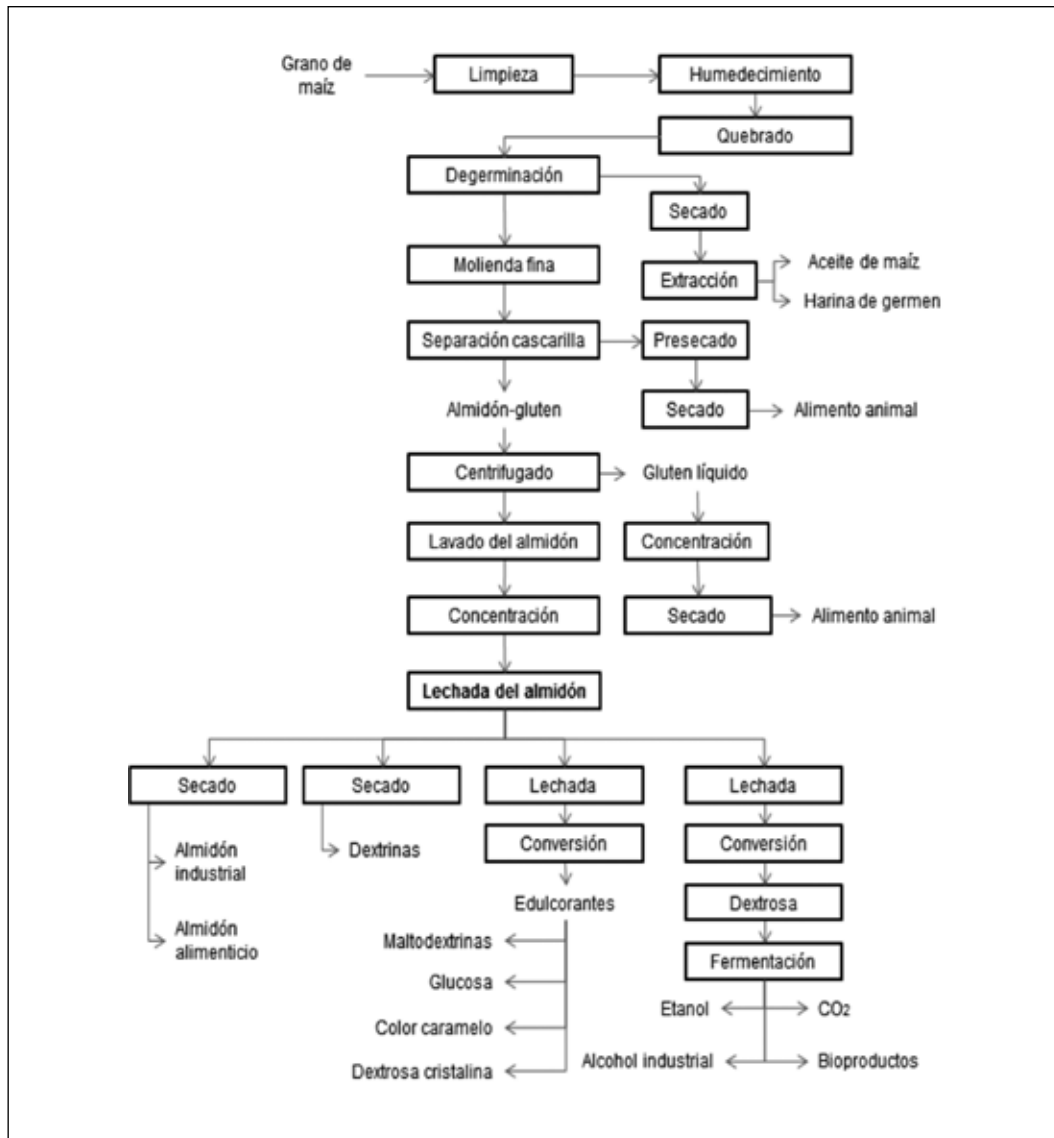
Weigel *et al.* (2004) afirman que “en la molienda húmeda la refinera de maíz busca que el

almidón: 1) se refine y mejore; 2) produzca endulzantes de maíz; 3) se fermente para hacer alcohol; 4) se venda por su aceite; y 5) produzca derivados de valor agregado de fermentación utilizando dextrosa” (p.2).

El proceso de molienda comienza con la limpieza del grano y finaliza con la lechada del almidón del cual se separan diversos productos para usos alimenticios y no alimenticios (Diagrama 1).

Humedecimiento. El maíz es enviado a tanques de remojo grandes con el fin de ablandar y acondicionar el grano. Allí se remojan durante 30

Diagrama 1
Procesamiento industrial de la molienda húmeda del maíz



Fuente: González, 2009, p. 31. Limpieza. En esta etapa son retirados todos los materiales extraños que puedan contener los granos. Se requiere un equipo magnético atraiga todos los elementos metálicos que puedan dañar el equipo o que contaminen el alimento.

a 50 horas a una temperatura de 49 °C a 54 °C en agua que contiene de 0.1 % a 0.2 % de dióxido de azufre. En esta etapa el grano absorbe agua incrementando su nivel de humedad hasta un 45 % (Weigel *et al.*, 2004, p. 3).

Quebrado. El grano es tratado para separar el agua de cocimiento en la cual se muele grueso, a fin de quebrar el grano y separar el germen (González, 2009, p. 33).

Degerminación. En esta etapa se lleva a cabo la separación del germen y el maíz quebrado es bombeado al sistema de hidrociclones cuyo principio básico se da por efecto de la fuerza centrífuga generada en el interior del ciclón. Los materiales pesados van a la pared del ciclón y el germen, por ser más liviano, permanece en la parte inferior. Este es lavado y secado hasta obtener un contenido de humedad del 3 % para luego proceder a su extracción a fin de ser utilizado en la producción de aceite de maíz; los sólidos que se generan en este proceso se destinan a la producción de alimentos balanceados para animales (González, 2009, p. 34).

Molienda fina. Una vez retirado el germen se emplea un molino de impacto con el fin de reducir el tamaño de las partículas de almidón, lo que permite aumentar el área de contacto sin afectar el material fibroso (Weigel *et al.*, 2004, p. 3).

Separación de la cascarilla. La fibra se recoge y se tamiza para recoger almidón residual o proteína. La cascarilla es luego secada con el fin de utilizarla como parte de la dieta animal. La suspensión almidón-gluten (llamada almidón de molino) se canaliza finalmente a los separadores de almidón (Corn Refiners Association, 2012, p. 1).

Centrifugado. Esta mezcla espesa del almidón-gluten es bombeada a una columna de discos giratorios por medio de fuerza centrífuga, lo que ocasiona que la proteína y el agua al ser menos densos floten y el almidón se quede en la parte inferior. El producto contiene aproximadamente un 60 % de proteína. Seguidamente, el gluten líquido es concentrado, filtrado y secado con el fin de obtener harina de gluten de maíz, la cual es empleada en la alimentación animal (Weigel *et al.*, 2004, p. 3).

Lavado del almidón y concentración. El almidón es lavado entre ocho y catorce veces. Luego se

diluye y se lava de nuevo en hidrociclones con el fin de eliminar las trazas remanentes de proteína y producir un almidón de alta calidad, con una pureza del 99.5 % (Corn Refiners Association, 2012, p. 1).

Lechada del almidón. En esta etapa se efectúan diversos procedimientos que definen las aplicaciones o destinos finales que se le dará al almidón, los cuales se materializan en subproductos como los que se detallan en la Tabla 8:

Almidón industrial

Es empleado en diferentes industrias. Puede ser nativo o modificado. Los mayores campos de aplicación se encuentran en las industrias papelera, textil, cartón corrugado, minera y de detergentes, entre otras (González, 2009, p. 40). Entre sus múltiples subproductos se cuentan (González, 2009, p.44):

1. *Dextrinas.* Son una forma de almidón tostado que se emplea en la producción de adhesivos y en otras industrias por sus propiedades espesantes. Otra aplicación es en productos alimenticios como horneados, mezclas preparadas, postres congelados y productos lácteos (Corn Refiners Association, 2012, p. 1).

Tabla 8
Usos industriales del almidón

Industria	Usos
Adhesivos	Producción de adhesivos.
Agroquímica	Pajotes, pesticidas, recubrimiento de semillas.
Cosméticos	Rostro y polvos de talco.
Detergentes	Surfactantes, constructores, decolorantes, activadores de blanqueamiento.
Alimentos	Modificador de viscosidad, agente de cristalización.
Medicina	Extensor de plasma, preservación para trasplantes de órgano, productos sanitarios absorbentes.
Petrolera	Modificador de viscosidad.
Papel	Encuadernación, tamaño, recubrimiento.
Farmacéutica	Diluyente, fármacos.
Plásticos	Relleno biodegradable.
Purificación	Floculantes.
Textil	Impresión y acabado, resistencia al fuego.

Fuente: Ellis *et al.*, 1998, p. 290; & Davis *et al.*, 2003, p. 109.

2. *Edulcorantes*. Para la producción de edulcorantes se parte de la lechada del almidón y se continúa con un proceso de conversión. Por lo general comparten similitudes en sus propiedades de estabilidad y de cristalización pero cada uno posee cualidades específicas que permiten su diferenciación (ver Tabla 9) (*Corn Refiners Association*, 2012, p. 1).
3. *Etanol*. También denominado alcohol etílico, se obtiene por fermentación de los azúcares. Es una importante línea de aplicación que lidera las tendencias mundiales. Puede ser combinado con otros combustibles (como la gasolina, la cual oxigena) y la proporción de la mezcla depende de los avances tecnológicos en ese sentido y de las reglamentaciones de cada país (Glozer, 2011, p. 5).
4. *Alcohol industrial*. Sánchez (2005) afirma que “para obtener etanol a partir de almidón es necesario romper las cadenas de este polisacárido para obtener jarabe de glucosa, el cual se puede convertir en etanol por acción de las levaduras. Por ello se debe incluir una etapa adicional de hidrólisis (rompimiento, degradación) de este biopolímero”.
5. *Dióxido de carbono (CO₂)*. El gas carbónico es considerado como el segundo producto de fermentación alcohólica más importante. En su producción se emplean cepas de levaduras como *Saccharomyces cerevisiae*, con un rendimiento promedio de CO₂ entre 0.4 a 0.5 gramos de CO₂ por gramo de azúcar degradado (Flanzy, 2003, p. 284).

Almidones modificados

Son elaborados como materias primas para ser empleadas en un proceso específico. Utilizan reactivos químicos con el fin de alterar las propiedades fisicoquímicas del almidón nativo. Entre sus principales aplicaciones están el almidón pregelatinizado, el almidón oxidado, el almidón convertido y los almidones fosfatados, entre otros (González, 2009, p. 44).

Almidón alimenticio

Puede ser nativo o modificado. Suele utilizarse como agente (espesante, ligador), como floculante,

Tabla 9
Edulcorantes y sus características básicas

Tipo	Característica
Jarabe de maíz	Empleado por su dulzura y su capacidad de adaptación. Puede deprimir la formación de cristales en helados y postres. Otro uso es en la charcutería para mantener homogénea la mezcla de ingredientes y mejorar texturas y sabores (conservas).
Glucosa (dextrosa)	Funciona como endulzante de productos como la goma de mascar y como mitigante del dulzor de la sacarosa en productos como mermeladas y jaleas. Se emplea también por su capacidad de mantener estable la humedad del producto. Es utilizada como materia prima para la producción de ácido cítrico, aminoácidos, etanol, etc.
Jarabe de maíz de alta fructuosa	Caracterizado por ser natural y altamente fermentable. Se vende en dos formulaciones: 42 % y 55 % en fructuosa. Es empleado en bebidas gaseosas, en bebidas de fruta no carbonatadas y en productos horneados.
Fructuosa cristalina	Se utiliza en los alimentos bajos en calorías y en bebidas gracias a que se necesita menor cantidad para producir el sabor deseado. Empleada en cereales endulzados y en bebidas instantáneas por su capacidad de producir una mayor dulzura
Polioles	Entre estos se encuentran el manitol, el sorbitol y el licitol. Tienen menos calorías que el azúcar, no favorecen la caries dental y producen una respuesta glucémica baja. Se emplean en productos dietéticos, caramelos, helados, yogur, frutas enlatadas, cremas dentales y enjuagues bucales.
Maltodextrinas	Apreciadas por su alta solubilidad, ser inhibidoras de la cristalización, por su propiedad ligante, como agente espesante y por su característica de formar películas. Usadas en la leche en polvo, en cremas y quesos para fundir, en bebidas para deportistas, en panificación y en cárnicos, entre otros. (González, 2009, p. 60).

Fuente: *Corn Refiners Association*, 2012, p. 1

como gelificante o para el control de la textura de alimentos infantiles (espesante), en la confitería como agente antiadherente, como moldeador, espesante y floculante y en la industria cervecera como fuente importante de carbohidratos para el proceso de fermentación.

Bioproductos

El proceso de fermentación de la glucosa origina otros compuestos de alta importancia biológica e

industrial, dentro de los que se destacan los ácidos orgánicos, los aminoácidos, las vitaminas, etc. Los ácidos cítrico y láctico proporcionan acidez a los alimentos y a los productos de confitería y ayudan al control del pH (*Corn Refiners Association*, 2012, p. 1).

Los biopolímeros o bioplásticos se caracterizan por ser biodegradables en un período de cuarenta y cinco días aproximadamente después de ser desechados. Pueden ser empleados en la elaboración de empaques, vasos, películas plásticas y papel de revestimiento (González, 2009, p. 77).

Se pueden desarrollar polímeros a base de maíz, como el ácido poliláctico (PLA), polihidroxialcanoatos (PHA) y el 1,3-propanediol (Bio-PDO) los cuales se caracterizan por ser de alto rendimiento y como alternativa a los derivados del petróleo (*Corn Refiners Association*, 2012, p. 1).

Conclusiones

1. El maíz es uno de los productos agrícolas más consumido a nivel mundial. A pesar de que en Colombia falta tecnificación en su cultivo, el desarrollo de semillas mejoradas y aptas para la producción ha progresado, lo cual ayuda a incrementar el rendimiento de la producción.
2. Los tipos de maíz más cultivados en Colombia siguen siendo el maíz blanco y maíz el amarillo, de los cuales el blanco es utilizado en la producción de almidón y el amarillo en la alimentación humana y animal.
3. La composición estructural y las propiedades fisicoquímicas del grano de maíz son determinantes para seleccionar los productos y subproductos de su industrialización, como el almidón y el gluten que se encuentran en el endospermo, el aceite en el germen y el pericarpio constituido de material fibroso. Las industrias colombianas producen y comercializan el aceite de maíz en diferentes supermercados y autoservicios por medio de un sistema de maquila y los subproductos derivados de la molienda húmeda como son los jarabes de glucosa utilizados como materia prima en la industria confitera.
4. Dentro de los tipos de maíz más comercializados se tienen los maíces duros y blandos entre los cuales se destacan el maíz palomero, el córneo, el dentado, el harinoso y el dulce. Su variedad permite múltiples aplicaciones al ser uno de los cereales más consumidos en el país y son una alta fuente de alimentación humana y animal.
5. La calidad de los granos se determina mediante diferentes características que influyen en el producto final, tales como la dureza, la humedad e incluso la producción de granos que se encuentren libres de patógenos. Sin embargo, debido a la producción artesanal (tradicional en Colombia) carente de tecnificación, se hace difícil para los cultivadores colombianos garantizar semillas uniformes y de alto rendimiento. Este es uno de los motivos principales por los cuales Colombia se ve obligada a importar grandes cantidades de este cereal.
6. La industrialización del maíz puede tomar dos vías durante el proceso de molienda: la seca y la húmeda. De la primera se pueden obtener productos como el etanol, el aceite de maíz, la harina de maíz, la sémola de maíz, cereales para el desayuno, pasabocas y sopas. De la segunda se destacan productos como el almidón industrial, el almidón alimenticio, las dextrinas, los edulcorantes (maltodextrinas, glucosa, dextrosa cristalina, etc.) y los derivados del proceso de fermentación como son el etanol, el alcohol industrial, el dióxido de carbono y bioproductos como los aminoácidos, los biopolímeros, los antibióticos, etc.

Bibliografía

- ALDRICH, S.R.; SCOTT, W.O; & LENG, E.R. (1975). *Modern corn production*. 2da Edition. Champaign, IL, USA: A & L Publications.
- AGRONET (2011). *Rendimiento de la producción de maíz tradicional y tecnificado en Colombia*. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

- BLANCHARD, P.H. (1992). "Technology of corn wet milling and associated process". In: *Industrial Chemistry Library*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier.
- BROWN, W.; ZUBER, M.; DARRAH, L.; & GLOVER, D. (1986). "Origin, Adaptation, and Types of Corn". In: Agricultural Extension Service (compiler). *National Corn Handbook*. Ames: Iowa State University.
- CAMPUZANO, F., & NAVAS, A. (2006). *Cultivo de maíz*. Mosquera: Corpoica.
- CORN REFINERS ASSOCIATION (2011). *The positive economic impact of corn wet milling*. Annual report. Washington D.C.: CRA.
- CORTEZ, A.; & WILD-ALTAMIRANO, C. (1972). "Contribución a la tecnología de la harina de maíz". En: R. Bressani, J.E. Braham y M. Béhar, (compiladores). *Mejoramiento nutricional del maíz*. Guatemala: Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).
- DANE (2004). *Maíz tecnificado en Colombia*. Bogotá: DANE.
- DAVIS, J.P.; SUPATCHAREE, N.; KHANDELWAL, R.L.; & CHIBBAR, R.N. (2003). "Synthesis of novel starches in planta: Opportunities and challenges". *Starch-Stärke Journal*. Vol. 55 No 3-4. pp. 107-120.
- DIAN (2011). *Importaciones de maíz y producción nacional, 2007-2010*. En: *Plan País Maíz. Cadenas productivas*. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- DICKERSON, George (2003). "Specialty Corns". *College of Agriculture and Home Economics*. Las Cruces: New Mexico State University.
- DUVÁN, Yurguen. *Cultivo de maíz* [Web log post]. Recuperado de <http://cultivodemaiz.blogspot.com/>. "Publicado en la red" 25 de febrero de 2009 y "Consultado el" 21 de Junio de 2012.
- ELLIS, R.P.; COCHRANE, M.P.; DALE, M.F.B.; DUFFUS, C.M.; LYNN, A.; MORRISON I.M.; PRENTICE, R.D.M.; SWANSTON, J.S. & TILLER, S.A. (1998). "Starch production and industrial use". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 77. No 3. pp. 289-311.
- FAO (1993). *El maíz en la nutrición humana*. Colección FAO: Alimentación y nutrición, No 25. Roma: FAO.
- FENALCE. *Maíz*. http://www.fenalce.org/pagina.php?p_a=46. "Consultado el 27 de febrero de 2012".
- FENALCE (2010). "El cultivo del maíz, historia e importancia". En: *Importancia de los cultivos presentados por fenalce*. Mayo-junio. pp. 10-19.
- FLANZY, Claude (2003). *Enología: fundamentos científicos y tecnológicos*. Segunda ed. Madrid: Mundi-prensa
- FUSSELL, Betty (1992). *The story of corn*. New York: North Point Press.
- GLOZER, Ken (2011). *Corn Ethanol: Who Pays? Who Benefits?* California: Hoover Institution Press.
- GONZÁLEZ, Ubaldo (2009). *El maíz y los productos de su industrialización*. México D.F.: Trillas.
- HOGARES JUVENILES CAMPESINOS (2004). "Producción agrícola". En: *Manual agropecuario: tecnologías orgánicas de la granja*. Vol. 1. Colombia: Hogares Juveniles Campesinos.
- HOLLINGER, Steven; & ANGEL, James (2009). "Weather and Crops". In: Emerson Nafziger (compiling). *Illinois Agronomy Handbook*. 24th Edition. Illinois: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- LEONARD, David (1981). *Traditional crops*. Washington, D.C.: Peace Corps.
- MADR-FENALCE (2011). "Localización de la producción nacional año 2010". En: *Plan País Maíz. Cadenas productivas*. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
- MÉNDEZ, D.; GUEVARA, P.; TORRES, C.; & CAMACHO, K. (2012). *Perspectivas del cultivo de maíz, primer semestre de 2012*. Colombia: Departamento de Información Económica y Estadística: Fenalce.

- MINNESOTA SEED LAW (1939). *Minn. Statute*. Chapter 21, Minnesota: Department of Agriculture.
- OSPINA, Julio (2001). *Características Físico Mecánicas y Análisis de Calidad de Granos*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- POMERANZ, Y.; CZACHAJOWSKA, Z.; & LAI, F.S. (1986). "Comparison of methods for determination of hardness and breakage susceptibility of commercially dried corn". *Cereal Chemistry Journal*. Vol. 63. No 1. pp. 39-43.
- POMERANZ, Y.; CZACHAJOWSKA, Z.; MARTIN, C.R. & LAI, F.S. (1985). "Determination of corn hardness by the stenvert hardness tester". *Cereal Chemistry Journal*. Vol. 62. No 2. pp. 108-112.
- POMERANZ, Y., MARTIN, C.R., TRAYLOR, D.D. & LAI, E.S. (1984). "Corn hardness determination". *Cereal Chemistry Journal*. Vol. 61. No 2. pp. 147- 150.
- RABÍ, O.; P. PÉREZ; N. PERMUY; J. HUNG; & F. PIEDRA (2001). *Guía técnica para la producción del cultivo del maíz*. La Habana.
- PALIWAL, R.; GRANADOS, G.; RENÉE, H.; & VIOLIC, A. (2001). *El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción*. Roma: FAO.
- PURSEGLOVE, J. W. (1972). *Tropical crops: Monocotyledons*. New York: Halsted Press Division.
- RAMÍREZ, E.C.; JOHNSTON, D.B.; McALON, A.J.; YEE, W.; & SINGH, V. (2008). "Engineering process and cost model for a conventional corn wet milling facility". *Industrial Crops and products*. Vol. 27. No 1. pp. 91-97.
- ROBUTTI, José (2008). "Calidad y usos del maíz". *Revista Idia XXI*. Buenos Aires: INTA pergamino. pp. 100-104.
- SANCHEZ, Óscar & CARDONA, Carlos (2005). "Producción biotecnológica de alcohol carburante I: obtención a partir de diferentes materias primas". *Revista de Ciencia y Tecnología de América – Interciencia*. Vol. 30. No 11. pp. 671-678.
- SHUKLA, Rishi; & CHERYAN, Munir (2001). "Zein: the industrial protein from corn". *Industrial crops and products*. Vol. 13. No 3. pp. 171-192.
- SILVA, Carlos (2005). *Maíz genéticamente modificado*. Bogotá D.C.: Agro-Bio.
- SOCORRO, M., & MARTÍN, D. (1989). "Maíz". En: *Granos*. La Habana: Editorial Pueblo y Educación.
- THOMÉ, Otto (1885). *Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz*. Berlín, H. Bermühler.
- TROYER, A. Forrest (1991). *Breeding corn for the export market*. Alexandria: ASTA – Corn Sorghum Research Conference.
- TROYER, A. Forrest; & BROWN, Walter (1976). "Selection for early flowering in Corn – 7 late synthetics". *Crop Science*. Vol. 16. No 6. pp. 767-772.
- TROYER, A. Forrest.; & MASCIA, Petter (1999). "Key technologies impacting corn genetic improvement – past, present, and future". *Maydica*. Vol. 44. No 1. pp. 55-68.
- USDA (2006). *Thinking bio renewables: think corn*. Washington D.C.: Iowa Corn Promotion Board.
- USTARROZ, E; SAAVEDRA, A.; ERRASQUIN, L.; BRAGACHINI, M; CASINI, C.; & MÉNDEZ, J. (2010). "Maíz cadena de valor agregado: alternativas de transformación e industrialización". *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)*. Actualización técnica No 54. pp. 1-34.
- WATSON, S.A.; & RAMSTAD, P.E. (1987). *Corn: Chemistry and Technology*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists.

- WEIGEL, J.; LOY, D.; & KILMER, L. (2004). *Los coproductos alimenticios derivados del proceso de la molienda húmeda del maíz*. Washington D.C.: Iowa Corn Promotion Board.
- WHITE, P.J.; & JOHNSON, L.A. (2003). *Corn: Chemistry and Technology*, second ed. American Association of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN, pp. 467-468.
- WILKES, G. (1989). "Maize: domestication, racial evolution and spread". In: Harris, D. R.; Hillman, C. (compiling). *Foraging and farming: the evolution of plant exploitation*. London: Unwin Hyman.
- WOLF, M.J.; BUZAN, C.L.; MACMASTERS, M.M.; & RIST, C.E. (1990). "Structure of the mature corn kernel. 1. Gross-anatomy and structural relationships". *Cereal Foods World Journal*. Vol. 35. No 12. pp. 321-332.
- WOLF, M.J.; KHOO, U.; & SECKINGER, H.L. (1969). "Distribution and subcellular structure of endosperm protein in varieties of ordinary and high-lysine maize". *Cereal Chemistry Journal*. Vol. 46. No 3. pp. 253-263.