

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERÍA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LÍNEAS
MOLECULARES E HÍBRIDOS DE MAÍZ DE CALIDAD
PROTEICA MEJORADA Y MAÍZ COMÚN AMARILLO**

T E S I S

EDUARDO CORONADO AMAYA

JUNIO DEL 2007

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

UNIVERSIDAD DE SONORA
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LÍNEAS
MOLECULARES E HIBRIDOS DE MAÍZ DE CALIDAD
PROTEICA MEJORADA Y MAÍZ COMUN AMARILLO**

T E S I S

EDUARDO CORONADO AMAYA

JUNIO DEL 2007

**CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE LÍNEAS MOLECULARES E
HIBRIDOS DE MAÍZ DE CALIDAD PROTEICA MEJORADA Y MAÍZ
COMUN AMARILLO**

TESIS

Sometida a consideración del
Departamento de Agricultura y Ganadería

de la

Universidad de Sonora

Por

Eduardo Coronado Amaya

Como requisito parcial para obtener
el título de Ingeniero Agrónomo
Zootecnista

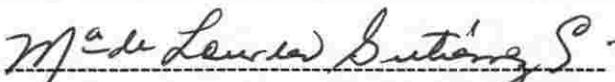
Junio de 2007

Esta tesis fue realizada bajo la Dirección del Consejo Particular aprobada y aceptada como requisito parcial para la obtención del grado de:

INGENIERO AGRONOMO ZOOTECNISTA

CONSEJO PARTICULAR:

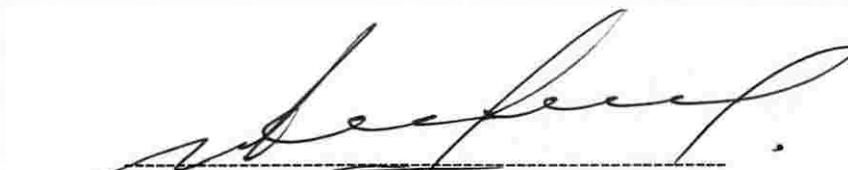
DIRECTOR:


M.C. Ma. de Lourdes Gutiérrez Coronado

ASESOR:


M.C. Jesús Anaya Islas

ASESOR:


M.C. Agustín Araiza Soto

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por permanecer junto a mi día con día, darme salud, sabiduría y permitirme llegar a esta etapa de mi vida, mi formación como profesionista.

A la UNIVERSIDAD DE SONORA y al DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, por la formación brindada y conocimientos adquiridos.

Al CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN ALIMENTACIÓN Y DESARROLLO A.C. Por proporcionarme sus instalaciones y equipo para llevar a cabo mi trabajo de tesis.

A mi maestra asesora M.C. LOURDES GUTIERREZ CORONADO, por su amistad, paciencia y apoyo en la elaboración de mi tesis.

Al Q.B. FRANCISCO VAZQUEZ ORTIZ, por su conocimiento y apoyo técnico en la determinación de Aminoácidos por Cromatografía Líquida de Alta Resolución.

A ERIKA JAVIER Y AMPARO NIEBLAS, por sus asesorías y colaboración en los análisis proximales.

Al M.C. HUMBERTO GONZALEZ RIOS, por su apoyo en el análisis estadístico de los resultados.

A mis sinodales M.C. JESÚS ANAYA ISLAS y M.C. AGUSTÍN ARAIZA SOTO, por su apoyo académico, consejos y darme un buen ejemplo para mi formación profesional.

DEDICATORIA

A MIS PADRES CRUZ FRANCISCA AMAYA Y AURELIO CORONADO, por darme la vida, su amor, apoyo incondicional y sobre todo la oportunidad de alcanzar una de mis más grandes metas, mi formación como profesionalista por lo cual siempre estare agradecido. Los quiero mucho y siento un gran respeto, admiración y amor por ustedes.

A MIS HERMANAS BRENDA Y THELMA, por su ejemplo, amistad y apoyo que siempre me han brindado.

A MIS SOBRINOS ALYTH Y ALBERTITO, por ser el modelo de alegría y mantenerme siempre contento.

A MIS FAMILIARES Y AMIGOS y a todas aquellas personas que de alguna u otra manera contribuyen a superarme y formarme como un hombre de provecho.

Por eso y más

Gracias

Eduardo

CONTENIDO

	Pág.
INDICE DE CUADROS	<i>vii</i>
RESUMEN	<i>viii</i>
INTRODUCCIÓN	1
LITERATURA REVISADA	3
Importancia de la porcicultura	3
Producción de cerdos a escala mundial	3
Producción de cerdo en México	4
Importancia y producción porcicola en Sonora	4
Derivados del cerdo	5
Costos de producción	6
Alimentación	7
Fuentes de energía	7
Fuentes de proteína	8
Fuentes de proteína de origen animal	8
Fuentes de proteína de origen vegetal	8
Requerimientos de aminoácidos y proteína ideal para cerdo	9
Hidrólisis de las proteínas	10
Fuentes de vitaminas y minerales	11
Cereales como ingredientes para cerdo	11
Estructura del maíz	12
Composición y valor nutricional del maíz	13
Tipos de maíz	14
Maíz duro	14
Maíz reventón	15
Maíz dentado	15
Maíz harinoso	15
Maíz ceroso	16
Maíz dulce	16
Maíz baby	17
Maíz híbrido	17
Historia del desarrollo del maíz híbrido	17
Híbridos para la nutrición animal	19
Material genético mejorado	19
Uso de semillas mejoradas	21
Maíz de calidad proteica mejorada (CPM)	22
Genealogía y caracterización de líneas moleculares e híbridos de maíz	
CPM	23
Concepto de calidad	25
La calidad en el alimento	26

Propiedades físicas del grano relacionado con la calidad	26
Propiedades químicas del grano relacionado con la calidad	27
MATERIALES Y METODOS	30
Materiales	30
Caracterización física	30
Caracterización química	31
Perfil de aminoácidos por hplc	31
Análisis estadístico	32
RESULTADOS Y DISCUSION	33
Composición física	33
Composición química	35
Composición de aminoácidos esenciales y no esenciales	38
CONCLUSIONES	42
LITERATURA CITADA	43

INDICE DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1.- Inventario porcino de los principales países productores de cerdo.	3
Cuadro 2.- Producción de carne de cerdo por estado.	4
Cuadro 3.- Volúmenes de producción pecuaria según especie por ciclo ganadero	5
Cuadro 4.- Composición química del grano de maíz y sus fracciones y distribución de los tipos de proteínas presentes en el grano	13
Cuadro 5.- Características físicas de granos de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-431, A-PANTERA Y P30G54	35
Cuadro 6.- Características químicas de granos de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-431, A-PANTERA Y P30G54.	38
Cuadro 7.- Perfil de aminoácidos esenciales de grano de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-431, A-PANTERA Y P30G54	40
Cuadro 8.- Perfil de aminoácidos no esenciales de grano de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-431, A-PANTERA Y P30G54.	41

RESUMEN

El presente estudio se llevo a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. Se evaluaron tres híbridos de maíz CPM (HM), seis líneas moleculares (LM) y granos de maíz amarillo (MA), proporcionados por el Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui. Se determinó peso hectolítrico, peso de mil granos, longitud, anchura y grosor; así como también su análisis bromatológico, utilizando las técnicas oficiales y contenido de aminoácidos por High performance liquid chromatography (HPLC). En general, los valores correspondientes a características físicas, fueron mayores ($P < 0.05$) para LM y HM que para el MA. Sus características bromatológicas fueron variables. El contenido de humedad, proteína y carbohidratos del MA arrojaron valores menores ($P < 0.05$) a los encontrados en LM y HM; por el contrario, el contenido de cenizas ($P \geq 0.05$) y grasa ($P < 0.05$) fue siempre menor en los HM analizados en relación al MA. En general, con respecto al MA, las LM contienen más lisina (0.42 vs. 0.33, $P < 0.05$), isoleucina, valina, histidina, aspártico, glutámico, serina, glicina, arginina y alanina; Los HM contienen mas lisina (0.63, 0.42; $P < 0.05$), leucina, isoleucina, fenilalanina, valina, metionina, tirosina, treonina, histidina, aspártico, glutámico, serina, glicina, arginina y alanina. Los híbridos presentan un mayor contenido de todos los aminoácidos esenciales y no esenciales analizados en comparación al MA. El conocimiento de las características físicas y químicas, en particular el contenido de lisina y triptofano, de las LM y HM es esencial para cumplir con el desarrollo de nuevos híbridos que puedan ser utilizados ventajosamente en programas de mejoramiento genético desde el punto de vista de calidad nutricional.

Palabras clave: maíz de alta calidad proteica, maíz amarillo, híbridos, líneas moleculares, características físicas y químicas, aminoácidos.

INTRODUCCION

México cuenta con una población de más de 100 millones de habitantes y produjo alrededor de 23 millones de toneladas métricas de cereales en un área de 9.9 millones de hectáreas (Sagarpa, 2002). El cereal de mayor importancia, producción y consumo per cápita en el pueblo mexicano, sin lugar a dudas es el maíz. Aproximadamente 65 % del área cultivada con cereales se destino a este cultivo. El maíz vía consumo directo, aporta diariamente del 32 al 50 % de la energía calórica y del 35 al 55% de la proteína (Ortega y col, 2001). Una semilla de maíz común consiste de 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidas en tres estructuras: el germen (10%), el endospermo (80%), y el pericarpio. Las proteínas en el maíz están clasificadas en base a su solubilidad: Albúminas, globulinas, prolaminas (zeína) y glutelinas. Las albúminas y globulinas son altas en lisina. Las prolaminas son muy altas en glutaminas, prolina, leucina, alanina y bajas en lisina y triptofano. La fracción proteica del endospermo contiene 25% de proteína de tipo gluteína y 60 % de proteína de baja calidad tipo zeína (Méndez-Montealvo y col, 2005).

Siendo el maíz común nutricionalmente imbalanceado, el descubrimiento del gen alto en lisina y triptofano conocido como opaco-2 (o-2) ayudó a mejorar la calidad de la proteína del endospermo. Sin embargo, el descubrimiento del o-2 estuvo acompañado de características indeseables como bajos rendimientos, textura del endospermo suave y gran susceptibilidad a enfermedades por insectos y hongos. Desde hace aproximadamente 20 años el Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), vía tecnología genética tradicional, transformó el maíz mutante o-2 generando un nuevo genotipo llamado maíz de calidad proteínica mejorada como CPM o QPM (por sus siglas en inglés). Este nuevo tipo de maíz presenta contenidos similares de lisina y triptofano que el o-2 pero con mejores características agronómicas y propiedades de procesamiento y almacenamiento (Vasal y col, 1980).

El maíz se utiliza principalmente como fuente de energía en dietas para cerdos; sin embargo, en dietas para crecimiento y finalización pueden encontrarse contenidos de alrededor del 80%, contribuyendo con más del 50% del requerimiento de los aminoácidos esenciales de los cerdos. Por lo que es importante conocer con mayor profundidad el valor nutricional de la proteína del maíz (Sauer y col, 1982).

La información generada en este estudio permitirá utilizar con más eficiencia los ingredientes empleados en la formulación de dietas porcinas, en especial la pasta de soya, principal aportadora de lisina, para alimentar con la mejor rentabilidad, esto es con el mejor costo posible y con la mayor productividad (Buraczewska y col, 1999). Lo anterior será de gran significancia para el sector porcícola, actividad de gran importancia económica para Sonora. Para el sector agrícola también sería importante, pues se podría incentivar la introducción de maíz CPM en sus programas de producción, ya que no hay diferencia con el maíz común en cuanto a prácticas agronómicas y rendimientos, por las ventajas que podría presentar la utilización de maíz CPM en la alimentación de cerdos. Por lo que el objetivo de este estudio fue caracterizar y comparar las propiedades físicas y químicas de las líneas moleculares e híbridos de maíz de alta calidad proteica y maíz amarillo.

LITERATURA REVISADA

Importancia de la porcicultura

La porcicultura en Sonora permitió para el año 2005, la captación de recursos al sector por un monto de 4,607,245 millones de pesos, producto de la comercialización de 218,817 ton de carne por ciclo ganadero, donde se sacrificaron 2,018,935 cabezas por ciclo y se comercializó hacia el extranjero 38,603 ton de cortes finos exportados principalmente a Japón y Estados Unidos, colocándose así como la actividad de mayor importancia económica en el sector pecuario del estado de Sonora y como líder nacional seguido por Jalisco (Bours-Castelo, 2006).

Producción de cerdo a escala mundial

Gracias a la gran demanda de la población mundial, ante las bondades que del cerdo se extrae, las cuales no solo proporcionan nutrientes vitales, sino que también aportan productos derivados esenciales y útiles, de los cuales el hombre depende extensamente, la producción de cerdo tendría que ir evolucionando. En el año 2000 se produjeron 81,819 miles de toneladas métricas de carne, en comparación con el 2005, cuando la producción aumentó a 93,552 miles de toneladas métricas. (<http://www.fmvz.unam>). Entre los países productores de cerdos en el mundo, México se encuentra en el lugar número 9 como se puede observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1.- Inventario porcino de los principales países productores de cerdo

PAÍS	MILES DE CABEZAS
Republica de CHINA	455,000
Unión Europea	123,012
Estados Unidos	58,774
Brasil	32,710
Polonia	17,400
(9)México	10,519
Japón	9,940

Fuente: Servicio de información y estadísticas agropecuarias y pesca 2005.

Producción de cerdo en México

Existen variaciones en los parámetros obtenidos en las explotaciones porcícolas, diferencias que se deben al medio ambiente, tipo de instalaciones, alimentación, manejo, sanidad, y otros como la inestabilidad económica (Iruega-Evaristo, 2003).

En los Cuadros 2 y 3, se resumen algunos parámetros de producción porcina en diferentes estados de la República Mexicana; considerados como los más representativos, donde se puede observar que hay estados con mayor productividad, la cual se puede atribuir a los factores antes mencionados, también puede ser por el apoyo de la industria de alimentos balanceados de los sectores de producción, empresas y cooperativas a nivel estado.

Cuadro 2.- Producción de carne de cerdo por estado.

ESTADO	TONELADAS
Sonora	127,260
Jalisco	120,465
Guanajuato	56,688
Yucatan	56,319
Puebla	48,291
Veracruz	36,177
Michoacán	25,029
México	14,148
Oaxaca	12,934
Guerrero	12,896

Fuente: Servicio de información y estadística agroalimentaria y pesquera (2006).

Importancia y producción porcícola en Sonora.

En Sonora, la producción porcícola es de gran importancia económica ya que genera divisas y fuentes de empleo. La actividad pecuaria porcícola se concentra principalmente en los municipios de Hermosillo, Navojoa, Álamos, Cajeme y Huatabampo. Para desarrollar esta actividad, los productores sonorense cuentan con una infraestructura que incluye granjas productoras de pie de cría, plantas empacadoras de productos y subproductos del cerdo, bodegas para almacenamiento de granos e insumos, plantas dedicadas a la elaboración de alimentos balanceados y rastros de tipo inspección federal (TIF). En este ámbito se ha facilitado la explotación porcina y sus

productos se comercializan, tanto en el ámbito nacional como en el extranjero (Candia Plata, 1995).

Cuadro 3. Volúmenes de producción pecuaria según especie, por ciclo ganadero

ESPECIE	TONELADAS
Bovino	76,290
Porcino	218,817
Aves	127,932
Caprino	1,077
Apícola	444

(Bours-Castelo, 2006)

Derivados del cerdo

Las diferentes partes del porcino no solo proporcionan nutrientes vitales, sino que aportan productos derivados esenciales y útiles, de los cuales el hombre depende extensamente. El cerdo, antes que todo, es una fuente de proteína animal de alta calidad, además son muchos los cortes y derivados que se pueden obtener de estos:

- a) Cuartos delanteros: Bisteces, carne para asar, carne molida, salchichas.
- b) Lomo: Costillas, chuletas, carne para asar, costillas traseras, tocino.
- c) Pierna: Jamón fresco y ahumado.

También los derivados son utilizados en la manufactura de lubricantes, así como químicos indispensables para uso de textiles y hasta insecticidas y herbicidas, mientras que su piel se emplea para fabricar abrigos, sacos, guantes, zapatos, bolsas y artículos deportivos.

Productos farmacéuticos derivados del cerdo. Los productos farmacéuticos se encuentran en segundo lugar, en las importantes contribuciones del cerdo a la humanidad.

- Fibra de la sangre-. Se emplea para elaborar aminoácidos para alimentar cierta clase de pacientes.

- Plasma-. Componente de la sangre que tiene la capacidad de digerir la fibrina en coágulos de sangre, se utiliza en pacientes que han tenido problemas cardiacos.
- Plasma fecal -. Se utiliza para la manufacturación de vacunas y como medio de cultivo de tejidos, ya que contiene anticuerpos.
- Hipotálamo-. Segregan sustancias pequeñas que producen la liberación de varias hormonas de la glándula pituitaria, las cuales se emplean en trastornos hormonales.
- Corazón -. Las válvulas cardíacas son utilizadas para remplazar válvulas del corazón humano.
- Hígado-. Se utiliza como complemento alimenticio (desechado), además de que es una fuente de vitamina B12.
- Ovarios-. Estos son una fuente de progesterona y estrógenos utilizados en tratamientos de problemas de la reproducción humana.
- Páncreas-. Esta glándula proporciona insulina y glucagón.
(Acontecer porcino, anuario 1992).

Costos de producción.

Los costos de producción se determinan en relación a la utilidad obtenida. Un requisito importante para determinar los costos de producción lo constituye el control del alimento, ya que éste representa aproximadamente el 70 – 75 % de los costos totales de producción. Estos costos se podrían reducir gracias a un buen plan de alimentación bien concebido y eficiente en cuanto a sus necesidades nutritivas como carbohidratos, grasas, proteínas y minerales, entre otros (Gallardo y Galarza, 2001).

Alimentación

Para lograr el éxito en el negocio de la porcicultura, se requiere de un plan de alimentación eficiente, en cuanto a necesidades nutritivas, las cuales se pueden satisfacer con cuatro principales tipos de ingredientes (Campabadal y Navarro, 1996).

Fuentes de energía

Estos ingredientes los podemos clasificar en altamente energéticos, medianamente energéticos y bajos en energía.

Las fuentes altas en energía son aquellas que contienen niveles de energía digestible hasta 3.0 Mcal/ Kg como los granos de, cereales, grasas y aceites. Los granos más utilizados en Centroamérica son maíz, sorgo, trigo y avena. El maíz es el principal ingrediente y predilecto para los nutriólogos por lo que se deja libre en la formulación de raciones, ya que no presenta restricciones nutricionales. El sorgo se utiliza como fuente de energía en aquellos países productores de este grano y que limitan la importación de maíz. Su principal limitante es la presencia de sustancias tóxicas, como los taninos, que limitan su valor nutritivo, especialmente el proteico, energético y le confiere un sabor amargo. También las grasas y los aceites son fuentes altas en energía, los cuales son ingredientes obligatorios en dietas de cerdas lactantes y cerdos pre-iniciadores, a niveles mínimos de 2-3 % en la dieta.

Las fuentes medianamente energéticas son aquellas que contienen niveles de energía digestible de entre 2.5-3.0 Mcal/Kg, las cuales corresponden a subproductos industriales como aceite de trigo, salvado de trigo, harina de coquillo, melaza de caña, y a los que se les llama "reellenos nutritivos". A pesar de que aportan niveles altos de proteínas, tienen un efecto laxante el cual acelera el paso del alimento en el tracto digestivo, incrementando el consumo del alimento y el arrastre de nutrimentos. Es por ello que al hacer la formulación se recomienda utilizarlos a niveles bajos o no utilizarlos.

Las fuentes bajas en energía son aquella materias primas que presentan niveles

de energía digestible menores a 2.5 Mcal/ Kg. Entre ellos se encuentran principalmente, la cascarilla de soya, cascarilla de algodón, cascarilla de arroz, bagazo de caña, y olote de maíz (Chutkaew y Paroda, 1994).

Fuentes de proteína

Existen dos tipos de fuentes de proteína que pueden ser utilizadas en la formulación de raciones para cerdos. Estas fuentes son de origen animal y de origen vegetal

Fuentes de proteína de origen animal

- **Harina de pescado.** Es una fuente de proteína que presenta el mejor patrón de aminoácidos. Sin embargo sus niveles de utilización están limitados por su alto contenido de calcio y fósforo, lo cual puede causar un desbalance en estos minerales, además afecta en el sabor de la carne del cerdo.
- **Harina de sangre.** La harina de sangre es excelente fuente de lisina, pero debido al tipo de procesamiento a que es sometida es mejor no utilizarla por su baja digestibilidad. Este producto para poder ser utilizado, deberá procesarse por un sistema llamado “atomización” que da un producto rojizo brillante de excelente calidad y una digestibilidad hasta del 80%.
- **Harina de hueso.** Debido a su alto contenido de calcio y fósforo también limitan su contenido en las dietas.
- **Subproductos lácteos.** Está constituido por suero de leche, leche descremada, leche entera deshidratada. Por su alto costo se utilizan únicamente en la alimentación de cerdos preiniciadores 10-20% y de inicio 5-10 % (Mc Donald y col, 1998).

Fuentes de proteína de origen vegetal

Las fuentes de proteína de origen vegetal son las más utilizadas en la alimentación

animal. Tres son las fuentes más comunes: Harina de soya, harina de semilla de algodón, y el gluten de maíz.

- **Harina de soya.** También se le llaman pasta o torta de soya. Existen de dos tipos, la de 48% y la de 44% de proteína. Ambas son de los mismos productos, con la diferencia que en la harina de soya del 44 %, están mas diluidos los nutrimentos, por un nivel mayor de cascarilla de soya, Actualmente todas las harinas de soya, son bajas en grasa (<1 %). Un error común es considerar ambos productos con la misma composición nutricional. En la base de datos deben existir como dos productos por separado. La harina de soya bien procesada (75-85 % solubilidad de proteína) no presenta restricciones nutricionales para el cerdo por lo que se ofrece en forma libre en la formulación de raciones.
- **Harina de semilla de algodón.** Esta es una fuente de proteína que presenta limitaciones para los monogástricos, las cuales son:
 1. El tóxico "gosipol"
 2. El contenido de fibra
 3. El bajo contenido de lisina
 4. El bajo contenido de metionina
- **Gluten de maíz.** Es una fuente de proteína utilizada principalmente por su adecuado nivel de metionina, de energía metabolizable y caroteno. Es limitante en dietas para cerdos por su bajo contenido de lisina y su alto costo. No se recomienda utilizar más del 5% en la dieta.
- **Aminoácidos sintéticos.** Se utilizan para complementar las deficiencias en las fuentes naturales de proteínas. Los más usuales son hidrocloreto de lisina (79 %), lisina-HCL (78%) y la DL metionina (98 %), así como los hidróxidos análogos de la metionina (MHA), ya sea en forma de polvo o en forma líquida. La utilización de estos productos dependerá del precio y del grado de actividad que se de (Flores, 1989).

Requerimientos de aminoácidos y proteína ideal para cerdos

Hay 20 aminoácidos que se encuentran en las proteínas. Algunos aminoácidos

pueden ser sintetizados usando esqueletos de carbón (derivados principalmente de la glucosa y de otro aminoácido) y de grupos aminos de otros aminoácidos presentes en exceso. Los aminoácidos sintetizados de esta manera se les denomina aminoácidos no esenciales. A los que no pueden ser sintetizados en una cantidad suficiente para permitir un crecimiento o reproducción óptima de los animales, se les denomina aminoácidos esenciales. Los requerimientos de algunos aminoácidos tienden a variar debido principalmente al tipo de cerdo, nivel de comportamiento, nivel de proteína en la dieta y a la fuente y disponibilidad de aminoácidos (NRC, 1998).

En la determinación de requerimientos de aminoácidos hay un patrón óptimo en la dieta entre aminoácidos esenciales que corresponden a las necesidades de los animales, a este patrón de aminoácidos se les llama proteína ideal. Se utilizan diferentes proteínas ideales, una para mantenimiento, otra para aumento de proteína, una para síntesis de leche y otra para tejido corporal.

El término de proteína ideal propuesto por Taylor y col (1979), implica el suministro de aminoácidos esenciales, sin excesos, sin deficiencias, además de nitrógeno para síntesis de aminoácidos no esenciales en forma equilibrada.

Posteriormente el ARC (1981), adapta el término de proteína ideal como referencia de composición de aminoácidos esenciales en canales de cerdos, debido a la alta correlación entre los requerimientos de aminoácidos de los cerdos en crecimiento y la composición de la canal.

Hidrólisis de la proteína

La hidrólisis enzimática de las proteínas resulta de la acción de varias enzimas, cada una de ellas con una característica bioquímica específica y lugar de secreción. La cantidad de aminoácidos que se hidrolizan en el estómago es poca, pero la hidrólisis de las proteínas en el estómago es importante. La digestión de las proteínas continúa en el intestino delgado, donde el páncreas juega un papel muy importante. Sin la secreción del páncreas, la digestión de proteínas disminuirá drásticamente. La pared del intestino

delgado también secreta enzimas proteolíticas, y las células de las vellosidades intestinales contienen peptidasas dentro de su citoplasma finalizando el proceso hídrico (Steele y Harper, 1991).

Fuentes de vitaminas y minerales

Las vitaminas se suministran en forma de una premezcla fija, que incluyen todas las vitaminas y que satisfagan el 100% de los requerimientos. Dependiendo del grado de protección o de la forma de almacenamiento, estas pueden administrarse solas o en combinación con minerales traza. Los minerales traza también se suministran en forma de premezclas y satisfacen el 100 % de los requerimientos. También estos pueden suministrarse solos o en combinación con las vitaminas, el nivel de uso varía de 10-50 %. El requerimiento de cloro y de sodio, puede ser satisfecho con la inclusión directa de sal. La principal limitante que tiene la utilización de sal directamente, es su nivel de humedad. Tiene que usarse una sal seca para que exista una buena distribución en el alimento (Hoffmann, 1972).

Cereales como ingrediente en dietas para cerdos

Las dietas para cerdos se elaboran generalmente con sorgo y maíz y pasta de soya; esta última, como un complemento del primer aminoácido limitante (lisina). Diversos autores han señalado que el valor nutricional del trigo es inferior al del maíz y ligeramente superior al sorgo. Gill y Oldfield (1995), compararon el mérito nutricional del maíz, cebada y trigo, en dietas conteniendo el 80 % del cereal y 15 % de un suplemento proteico; este nivel de suplementación proteica parece apropiado en dietas en base a maíz, puesto que este porcentaje cubriría los requerimientos de lisina. Sin embargo dietas con 80% de trigo más el 15 % del suplemento proteico contienen hasta 40 % más de proteína cruda (PC) que las dietas con maíz. Es reconocido que el exceso de PC en las dietas puede tener un efecto detrimental en el comportamiento productivo de los cerdos (NRC, 1998).

Los cerdos pueden tolerar altos consumos de proteína con pocos efectos

específicos de enfermedad, excepto con diarrea ocasional. De cualquier modo el alimentar con altos niveles de proteína es un desperdicio, contribuye a la contaminación ambiental, y usualmente resulta en la reducción de la ganancia de peso y eficiencia del alimento. En la mayoría de los estudios la comparación del valor nutricional entre granos se ha hecho considerando dietas con igual nivel de proteína cruda. Para igualar el contenido de proteína, las dietas se complementaron con pasta de soya. Debido a que el trigo contiene más proteína que el sorgo y el maíz, el nivel de pasta de soya es mayor en dietas con sorgo o maíz. Así, como resultado el mayor contenido de lisina en la pasta de soya (3.12%). En comparación con el trigo (0.36%), las dietas con sorgo y maíz invariablemente contienen más lisina que las elaboradas con trigo. Debe tomarse en cuenta que la lisina es el primer aminoácido limitante, y cualquier variación de su contenido en las dietas puede reflejarse en diferencias en respuestas productivas del animal (Araiza- Piña, 2001).

Estructura del grano de maíz

El grano de maíz botánicamente es un fruto de tipo cariósipide (baya seca con una semilla) en el cual los granos maduros contienen cuatro estructuras físicamente fundamentales:

- Pericarpio (cáscara o salvado) que es una capa de células fibrosas que están cubiertas por una cutícula, la cual es una capa impermeable cerosa que recubre al grano y constituye cerca del 5.3 % del peso del grano.
- El germen es considerado el primer tejido de reserva del grano, cuyas partes principales son; el escutelo el cual representa cerca del 90 % del germen y almacena los nutrientes utilizados durante la germinación, además almacena la mayoría de los lípidos del grano de maíz, y representa el 11% del peso del grano.
- El endospermo presenta un alto contenido de almidón y es el segundo tejido de reserva del grano, su capa exterior es una capa de aleurona la cual contiene células con gránulos ricos en proteínas y minerales; esta estructura presenta una

consistencia suave o harinosa. El endospermo en la parte inferior del grano, a los lados del germen también presentan dos zonas ricas en proteínas que contienen, además, pequeños gránulos de lamidos. Representan el 80% del peso del grano (Watson, 1987).

Composición y valor nutricional del grano de maíz

El maíz es una de las fuentes más importantes de energía, proteínas y otros nutrimentos para seres vivos y ganado en el mundo. Especialmente en países en vía de desarrollo. El cuadro 4 muestra la composición química del maíz, la cual difiere considerablemente por diversos factores tales como variedad (genotipo), localización geográfica y condiciones de crecimiento (Paredes – López y col, 2000).

A partir de la entrada del Tratado del Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), las importaciones de maíz provenientes de Estados Unidos han ido en aumento y actualmente llegan a una tercera parte de la producción nacional, alrededor de 6 millones de toneladas. Es necesario incrementar la producción de maíz en México para evitar continuas y voluminosas importaciones, y la mejor opción es incrementar la productividad mediante el uso eficiente de los recursos disponibles (Paredes – López y col, 2000).

Cuadro 4.- Composición química del grano de maíz y sus fracciones y distribución de los tipos de proteínas presentes en el grano (%).

	Grano Completo	Endospermo	Germen	Pericarpio	Pedicelo	
Proteína	10.3	9.4	18.8	3.7	9.1	
Lípidos	4.8	0.8	34.4	1.0	3.8	
Azúcares	2.0	0.6	10.8	0.3	1.6	
Cenizas	1.4	0.6	10.1	0.8	1.6	
Almidón	71.5	86.4	8.2	7.3	5.3	
DISTRIBUCION DE PROTEINAS						
	A	B	C	D	E	F
Albúminas	8.0	8.3	4.0	4.3	3.0	3.3
Globulinas	9.0	9.4	4.0	4.3	30.0	33.3
Prolaminas (Zeinas)	39.0	40.6	47.0	50.0	30.0	5.6
Gluteinas	40.0	41.7	39.0	41.4	5.0	27.8

En las columnas A, C y E no se alcanzan el 100 % las proteínas insolubles.

Tipos de maíz

El maíz tiene una gran variabilidad en el color del grano, la textura, la composición y la apariencia. Puede ser clasificado en distintos tipos según: a) la constitución del endosperma y del grano; b) el color del grano; c) el ambiente en que es cultivado; d) la madurez, y e) su uso. A continuación se discutirán los diferentes tipos de maíz basados en la apariencia del grano y del endosperma y en su uso.

Los tipos de maíz más importantes son duros, dentados, reventones, dulces, harinosos, cerosos y tunicados. Económicamente, los tipos más importantes de maíz cultivados para grano o forraje y ensilaje caen dentro de las tres categorías más importantes de duro, dentado y harinoso. Un cuarto tipo de maíz que puede ser agregado a los anteriores es el maíz con proteínas de calidad (MPC) basado en el mutante *o2* obtenido en la búsqueda de una mejor calidad de las proteínas. Los tipos de maíz de menor importancia comparativa como aquellos usados como alimento o forraje, pero con un importante valor económico agregado son: maíz reventón cultivado por sus granos para preparar bocadillos; tipos de maíz dulce cultivados para consumir las mazorcas verdes, y tipos de maíz ceroso (Paliwal, 1986).

Maíz duro

Los granos de este tipo de maíz son redondos, duros y suaves al tacto. El endospermo está constituido sobre todo de almidón duro con solo una pequeña parte de almidón blando en el centro del grano. El maíz duro germina mejor que otros tipos de maíz, particularmente en suelos húmedos y fríos. Es por lo general de madurez temprana y se seca más rápidamente una vez que alcanzó la madurez fisiológica. Está menos sujeto a daño de insectos y mohos en el campo y en el almacenamiento. Sin embargo, los maíces duros rinden por lo general menos que los maíces dentados.

Los maíces duros son preferidos para alimento humano y para hacer fécula de maíz (maicena). Una parte importante del área sembrada con maíces duros es cosechada para ser consumida como mazorcas verdes o como alimento animal, si bien datos concretos al respecto no están aún disponibles. Muchos de los maíces duros cultivados

comercialmente tienen granos anaranjado-amarillentos o blanco-cremosos, aunque existe una amplia gama de colores, por ejemplo, amarillo, anaranjado, blanco, crema, verde, púrpura, rojo, azul y negro (CIMMYT, 1988).

Maíz reventón

Esta es una forma extrema de maíz duro con endospermo duro que ocupa la mayor parte del grano y una pequeña cantidad de almidón blando en la parte basal del mismo. Los granos son pequeños, con pericarpio grueso y varían en su forma de redondos a oblongos. Cuando se calienta el grano, revienta y el endospermo sale. Varias formas primitivas de maíz tienen granos de tipo reventón. El uso principal del maíz reventón es para bocadillos (rositas o palomitas). Los granos con bajo contenido de humedad -cerca de 14%- cuando se calientan a alrededor de 170°C, revientan y cuanto mayor es su expansión mejor es la calidad del producto final (Alexander, 1988).

Maíz dentado

En términos generales, el maíz dentado es el tipo de maíz cultivado más comúnmente para grano y ensilaje. El endospermo del maíz dentado tiene más almidón blando que los tipos duros y el almidón duro está limitado solo a los lados del grano. Cuando el grano se comienza a secar, el almidón blando en la parte superior del grano se contrae y produce una pequeña depresión. Esto da la apariencia de un diente y de aquí su nombre. Los maíces de granos dentados tienen una mayor profundidad de inserción en el olote y tienden a ser más difíciles de trillar que los maíces duros. El maíz dentado es generalmente de mayor rendimiento que otros tipos de maíces, pero tiende a ser más susceptible a hongos e insectos en el campo y en el almacenamiento y demora más en secar que los maíces de granos de endospermo duro. Muchos de los maíces dentados cultivados tienen granos de color blanco, preferidos para el consumo humano o tienen granos amarillos, los cuales son preferidos para alimento animal. Ambos tipos son importantes para alimento animal y para usos industriales (CIMMYT, 1994).

Maíz harinoso

El endospermo de los maíces harinosos está compuesto casi exclusivamente de un almidón muy blando, que se raya fácilmente con la uña aún cuando el grano no esté

maduro y listo para cosechar. Es el maíz predominante en las zonas altas de la región andina y de México. Los tipos de maíces harinosos muestran gran variabilidad en color de grano y textura. Estos maíces son casi únicamente usados como alimento humano y algunas razas se utilizan para la preparación de platos especiales y bebidas. Las razas de estos maíces presentan una gran variedad de colores y de algunos de ellos se extraen colorantes. A causa de la naturaleza blanda del almidón del endospermo estos maíces son altamente susceptibles a la pudrición y a los gusanos de las mazorcas y a otros insectos que los atacan tanto en el campo como en el almacenamiento. Por otra parte, también es difícil mantener la buena germinabilidad de las semillas. El potencial de rendimiento es menor que el de los maíces duros y dentados (Serna-Saldívar y col, 1994).

Maíces cerosos

Actualmente estos maíces son cultivados en áreas muy limitadas de las zonas tropicales donde las poblaciones locales los prefieren para su alimentación; su nombre se debe a que su endospermo tiene un aspecto opaco y ceroso. El almidón en los maíces duros y dentados está comúnmente constituido por cerca 70% de amilopectina y 30% de amilosa; en cambio en los maíces cerosos está compuesto exclusivamente por amilopectina. El mutante del maíz ceroso fue descubierto en China; es un maíz cultivado solo para algunos fines específicos y en algunas partes de Asia oriental es usado para hacer comidas típicas y para asar las mazorcas con los granos en estado de masa. En los últimos años la química de la amilopectina del maíz ceroso ha sido estudiada en detalle para sus fines industriales ya que su composición es muy distinta de la composición de la amilopectina de los maíces duros o dentados (Dintzis y col, 1995).

Maíces dulces

Estos tipos de maíces se cultivan principalmente para consumir las mazorcas aún verdes, ya sea hervidas o asadas. En el momento de la cosecha el grano tiene cerca de 70% de humedad y no ha comenzado aún el proceso de endurecimiento. Los granos tienen un alto contenido de azúcar y son de sabor dulce. La conversión del azúcar a almidón es bloqueada por genes recesivos, por ejemplo, azucarado (*su*), arrugado (*sh2*) y quebradizo (*bt1*). Los granos en su madurez son arrugados debido al colapso del

endospermo que contiene muy poco almidón. En este caso es difícil producir semillas con buena germinabilidad y esta tiende siempre a ser baja. Los tipos de maíz de grano dulce son susceptibles a enfermedades y son comparativamente de menor rendimiento que los tipos duros o dentados (CIMMYT, 1988).

Maíz baby

Otro tipo de maíz que está ganando popularidad es el maíz *baby*. Antes de la polinización, las mazorcas jóvenes son cosechadas y utilizadas como una hortaliza, y puede ser cultivado a lo largo de todo el año para su consumo fresco o envasadas (Chutaew y Paroda, 1994).

Maíz híbrido

El desarrollo del maíz híbrido es indudablemente una de las más refinadas y productivas innovaciones en el ámbito del fitomejoramiento. Esto ha dado lugar a que el maíz haya sido el principal cultivo alimenticio a ser sometido a transformaciones tecnológicas en su cultivo y en su productividad, rápida y ampliamente difundidas; ha sido también un catalizador para la revolución agrícola en otros cultivos. Actualmente la revolución híbrida no está limitada a los cultivos de fecundación cruzada, donde se originó exitosamente, y el desarrollo de los híbridos se está difundiendo rápidamente a las especies autofecundadas: el algodón y el arroz híbridos son casos exitosos y conocidos y el trigo híbrido puede ser una realidad en un futuro cercano (Vasal, 1994).

Historia del desarrollo del maíz híbrido

La hibridación varietal por medio de la polinización controlada o de la polinización abierta fue el origen para el desarrollo de muchas variedades de maíz; aún hoy día, las nuevas variedades evolucionan en los campos de los agricultores generadas por cruces derivadas de la polinización abierta. El uso intencional de la hibridación para el desarrollo de híbridos fue iniciado por Beal (1880): sembró dos variedades en surcos adyacentes, una de las cuales fue elegida como progenitor femenino y por lo tanto, fue despanojada, mientras que la otra variedad sirvió como polinizadora masculina; este híbrido entre variedades rindió más que las variedades parentales de polinización

abierta. Sin embargo, los híbridos entre variedades no encontraron gran aceptación entre los agricultores estadounidenses, posiblemente porque las ganancias en rendimiento eran modestas (Lonnquist y Gardner, 1961) o probablemente porque el concepto de híbrido era demasiado avanzado para esa época (Poehlman, 1987). La investigación innovativa llevada a cabo por Shull (1908, 1909) sobre el método de mejoramiento de maíz basado en las líneas puras dio las bases para una exitosa investigación y desarrollo de los híbridos. Esto ahora está avalado por cerca de 90 años de investigación de los fitomejoradores de maíz en los Estados Unidos de América y en otros países. El esquema de híbridos de cruza simple fue sugerido inicialmente por Shull (1908, 1909) y East (1908), quienes desarrollaron los cruzamientos de dos líneas endocriadas por el método de la línea pura, pero que no fue comercialmente exitoso a causa de las dificultades encontradas y el alto costo de la producción de las cruza simple. El maíz híbrido fue una realidad comercial después que Jones (1918) sugirió que dos cruza simple podían ser cruzadas entre sí para producir híbridos dobles. Describieron una serie de hitos en el desarrollo e investigación del maíz híbrido desde las cruza simple de Shull y East hasta el concepto moderno de usar dos líneas endocriadas para hacer una cruza simple. A continuación del éxito de Jones (1918) con los híbridos dobles, las principales etapas fueron: pruebas de *topcross* para habilidad combinatoria (Davis, 1927); predicciones sobre los híbridos dobles (Jenkins, 1934); pruebas tempranas de líneas puras (Jenkins, 1935; Sprague, 1946); concepto de variabilidad genética e híbridos (Cockerham, 1961); cruza de tres vías y, finalmente, híbridos simple desarrollando líneas puras superiores de alto rendimiento.

Técnicamente, un híbrido exitoso es la primera generación (F1) de un cruzamiento entre dos genotipos claramente diferentes. Normalmente se producen numerosos tipos de híbrido en todos los programas de mejoramiento para combinar diferentes caracteres de los distintos genotipos. En el caso del mejoramiento del maíz, el término híbrido implica un requerimiento específico y diferente, o sea que el híbrido F1 es usado para la producción comercial. El híbrido debe mostrar un razonable alto grado de heterosis para que el cultivo y su producción sean económicamente viables. Se han desarrollado varias clases de maíces híbridos que han sido usados en diferentes medidas

para la producción comercial; se pueden clasificar en tres tipos: híbridos entre progenitores no endocriados; híbridos entre progenitores endocriados e híbridos mixtos formados entre progenitores endocriados y no endocriados. A los híbridos de progenitores endocriados que son los más comunes, se los conoce como híbridos convencionales; los híbridos de progenitores no endocriados o mixtos no son tan populares y, en general, se les llama híbridos no convencionales (Paliwal, 1986; Vasal, 1986).

Hay varios procedimientos por medio de los cuales las líneas puras pueden cruzarse para producir maíces híbridos. Cuando se cruzan solo dos líneas el resultado es un híbrido simple. Si luego se emplean dos razas de cruce simple para formar un híbrido más complejo, éste se llama híbrido doble. Casi todos los híbridos propagados en los E.U.A. son cruces dobles. La producción de estos híbridos es mucho mayor y la semilla es más barata; lo que explica su gran difusión (Pandey y Gardner, 1992).

Híbridos para nutrición animal

La selección de híbridos para ensilaje es cada vez más compleja debido a la gran cantidad de factores que intervienen en esta decisión. Tradicionalmente los factores que se utilizaban para definir el híbrido más apropiado eran precocidad, características agronómicas y rendimiento. Hasta hace poco tiempo se usaban los mismos híbridos para ensilaje y grano. Sin embargo, con el avance en los métodos de mejoramiento genético y selección, ha habido un aumento en la disponibilidad de materiales por lo que se deben incorporar otros factores en la evaluación, tales como digestibilidad, composición química, factor verde, respuesta animal y otros, debido a que, en la actualidad, las empresas proveedoras de material genético ofrecen diferentes híbridos dependiendo de su utilización (Magnavaca, 1989).

Material genético mejorado

El material genético mejorado ofrece una de las mejores opciones para lograr incrementar la producción de maíz en México. El conocimiento de las líneas

moleculares o progenitores desde el punto de vista de diversidad genética, heterosis y habilidad combinatoria, es esencial para el desarrollo de híbridos o variedades, la creación de más variabilidad genética, evitar vulnerabilidad genética e implementar programas de selección recurrente. Los híbridos están formados por líneas moleculares que han pasado por un largo proceso de selección, es decir, líneas que han sobrevivido al menos cuatro a cinco autofecundaciones y han pasado por presiones de selección hacia diversas características como rendimiento, resistencia a enfermedades e insectos, etc. Por lo que han dejado atrás bastante carga genética, de tal forma que los híbridos que llegan a liberarse en forma comercial portan bastantes genes deseables y pocos genes indeseables, la generación de híbridos que puedan ser explotados comercialmente, es el resultado del mejoramiento genético que se enfoca a la resolución de problemas reales y urgentes, como es el caso de la falta de semilla mejorada de origen nacional que conlleve la seguridad de que por su calidad y pureza genética, los agricultores incrementan su producción por unidad de superficie (Rosa Loera y col, 2006).

Por otro lado, cada vez es más latente la necesidad que existe entre productores y comercializadores, de desarrollar un sistema de abastecimiento de semillas acorde a las necesidades específicas del sector y de cada región.

Las semillas mejoradas poseen una serie de caracteres favorables y útiles al hombre como son: alto rendimiento de grano y/o forraje, tolerancia a las enfermedades, mayor calidad, mayor contenido de proteína, mayor contenido de aceite, solo por citar algunas.

En este contexto, el INIFAP desarrolla las semillas mejoradas, las cuales son materiales obtenidos por algún proceso de mejoramiento tradicional que permite obtener homogeneidad, estabilidad y conservar fielmente su identidad genética y su pureza a través del tiempo.

Cada región posee características agroecológicas particulares, y las distintas variedades de plantas responden de manera diferente a las condiciones de cada ambiente.

El Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui a través de sus Campos Experimentales a nivel nacional ha desarrollado variedades e híbridos regionales con mejores características para contribuir a la competitividad y rentabilidad del sector agrícola.

Uso de semillas mejoradas

Las semillas mejoradas son un insumo estratégico en la agricultura, pues ayudan a elevar la producción, el rendimiento y la eficiencia para cubrir las necesidades alimenticias de la población y competir en el ámbito internacional.

El uso de semillas mejoradas es un elemento clave en muchos países en desarrollo, para alcanzar niveles competitivos en la producción. En México y Centro América, el uso de semilla mejorada de maíz es aún muy bajo con excepción de El Salvador, donde el uso de la semilla híbrida supera el 50 % de la superficie total sembrada, el resto de países de la región registran un bajo uso de semilla mejorada, sembrándose una proporción importante de esta superficie con variedades de polinización libre, y muy poco con semilla híbrida. En 62 años de investigación en México, instituciones como el INIFAP, entre otras, han liberado más de 221 híbridos y variedades mejoradas, con adaptación específica a las diferentes condiciones ambientales. Las nuevas variedades mejoradas del INIFAP podrían apoyar la difusión extensiva, permitiendo elevar la producción y la productividad, por las características agronómicas favorables, entre las que se pueden mencionar: tolerancia a enfermedades, resistencia al acame y ciclo vegetativo corto, menor porte de planta y mazorca, ausencia de ahijamiento y mecanizables; además, de ser competitivas en rendimiento (Trejo y col, 2004).

En 1982 se liberaron los primeros híbridos simples (H-422 y H-421), de los cuales solo se usó comercialmente el H-422; actualmente se cuenta con otros materiales simples. Se requiere que las líneas progenitoras de estos híbridos exhiban una producción de semilla superior a 2, 500 Kg/Ha, para ser competitivos y redituables para las empresas de semillas. Aún con esta productividad, salvo el H-431, los otros

materiales no han logrado despegar por su escasa capacidad productiva de semilla (Trejo y col, 2004).

Maíz de calidad proteica mejorada (CPM)

El desarrollo de la nueva variedad de maíz MCP llevó alrededor de 38 años, fue realizado por la Dra. Evangelina Villegas y el Dr. Surinder K. Vasal, investigadores que pertenecen al centro internacional de mejoramiento del maíz y trigo (CIMMYT), quienes lograron corregir los efectos negativos del gen *o2o2*. Descubrieron que una mutación espontánea en el cromosoma 7, denominada Opaco-2, duplicaba el contenido de lisina y triptofano con respecto a maíces normales. A pesar de su alto valor nutritivo este maíz no pudo impactar en la agricultura mundial principalmente por dos factores: el rendimiento era mucho menor comparado con variedades de maíz normal y presentaba un endospermo blando, lo cual afectaba negativamente en su estabilidad de almacenamiento al igual que en el procesamiento para alimentación tanto humana como animal (Larkins y col, 1994).

Desde hace aproximadamente veinte años, el centro internacional de mejoramiento de trigo y maíz (CIMMYT) vía tecnología genética tradicional, transformó el maíz mutante Opaco-2, generando un nuevo genotipo llamado maíz de alta calidad proteica, conocido como MCP o QPM (por sus siglas en inglés). Este nuevo tipo de maíz presenta un contenido similar de lisina y triptofano que el Opaco-2 pero con mejores características de dureza, densidad y peso del grano.

El programa de maíz MCP ha liberado materiales comerciales de este cereal; hoy en día existen numerosas variedades e híbridos de color blanco y amarillo. Actualmente en Sudáfrica, China, Ghana y Brasil se siembran comercialmente este tipo de maíces (Villegas y col, 1981).

En México, recientemente se realizó un acuerdo de cooperación entre el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Centro Internacional para el Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), que tuvo como

objetivo producir híbridos MCP. Este acuerdo señala que el INIFAP es el responsable de desarrollar materiales genéticos a través de los procesos tradicionales de mejoramiento de la semilla.

Desde el ciclo primavera-verano de 1997 al de Otoño-invierno 1999-2000, se han conducido cerca de 100 experimentos de híbridos y variedades de maíz con endospermo MCP en ambientes representativos del trópico y subtropical de México (región Noroeste y El Bajío entre otros), como producto de un convenio institucional INIFAP- CIMMYT con el fin de promover en el ámbito nacional maíces con mayor calidad nutritiva. Por otra parte, es importante señalar que el consumo más alto de maíz como alimento corresponde a familias de bajos ingresos, y en la industria pecuaria, particularmente la porcina, donde el uso de maíz MCP determinará la mejoría de la nutrición humana y la conversión de alimento balanceado a carne será más eficiente, como ya ha sido probado en porcinos, reportándose un coeficiente de conversión de 4.42 kg/ peso vivo ganado de grano de maíces de MCP, en contraste con 7.76 kg de maíz común por kg de peso vivo ganado (Twumasi-Afrile, 1994).

Genealogía y caracterización de líneas moleculares e híbridos de maíz CPM

La CML-176 tiene un 7.4 % de proteína en el grano y 1.05 % de triptofano en la proteína. Es una línea con tres autofecundaciones (P63-12-2-1/P67-5-1-1-2-B-B), derivada de un cruzamiento de líneas S₃ de las poblaciones 63 y 67. La población 63, Blanco Dentado-1-QPM, es básicamente Tuxpeño de la costa de Veracruz y la población 67 tiene origen subtropical. En la población 63, los niveles de proteínas son 9.0 %. La proteína contiene 0.97 de triptofano y 3.79 de lisina.

Las plantas CML-176 son de porte bajo con la mazorca ubicada aproximadamente a la mitad de su altura. Las hojas superiores a la mazorca son semi-erectas, mientras que las inferiores son semi-horizontales. La espiga es abierta, medianamente larga y su eje principal medianamente largo, la cantidad de ramas laterales primarias es alta y las ramas secundarias siempre están presentes. Las anteras son de color acre a morado claro, mientras que las glumas son de color morado. Los

estigmas son de color rosado. La mazorca es de forma cilíndrica con un promedio de 14 hileras rectas de grano de color blanco cristalina.

La CML-186, es una línea con tres autofecundaciones (P67C₂HC26-1-2-1-B-B), derivada de la población 67, Templado Blanco Cristalino-QPM, con un 8.2 % de proteína en el grano completo y 1.0 % de triptófano en la proteína. La población 67 se derivó del Complejo Germoplásmico 31.

Las plantas de CML-186 son de porte bajo con la mazorca ubicada aproximadamente a la mitad de su altura. Las hojas superiores a la mazorca son erectas, mientras que las inferiores son semi-erectas. La espiga es semi-abierta, medianamente larga y eje principal medianamente largo, la cantidad de ramas laterales primarias es intermedia y las ramas secundarias ocasionalmente están presentes. Las anteras son de color verde claro, mientras que las glumas presentan un leve color morado. Los estigmas son de color crema verdoso claro. La mazorca es de forma cilíndrica con un promedio de 14 hileras rectas de grano de color blanco semi-cristalino.

La CML-142, es una línea **endogámica** de cinco autofecundaciones (P62C₃HC93-5-6-1-3-B-B-B-7-B-B-#), obtenida por CIMMYT, que contiene 10.2 % de proteína de grano completo y 1.03 % de triptófano en proteína. La CML142 se derivó de la población 62, que originalmente fue la población 40 (White H.E. O₂-1). Esta población de amplia base genética incorporó germoplasma de origen tropical y subtropical de grano blanco semi-cristalino. Los niveles de proteína del grano completo, y de triptófano y de lisina en la proteína son 9.5 %, 9.8 % y 3.8 %, respectivamente.

Las plantas de CML-142, son de corte bajo en la mazorca ubicada aproximadamente a la mitad de su altura. Las hojas superiores a la mazorca son erectas, mientras que las inferiores son semi-erectas. La espiga es compacta, medianamente larga y su eje principal medianamente largo, la cantidad de ramas laterales primarias es alta y las ramas secundarias siempre están presentes. Las anteras son de color verde claro, mientras que las glumas presentan una coloración morada tenue. Los estigmas son de

color verdoso claro. La mazorca es de forma cilíndrica con un promedio de 12 hileras rectas de grano de color blanco semi-cristalino (CIMMYT, 1998).

El híbrido H-431 es una cruce simple directa, entre la línea de maíz T-39 como progenitor femenino, y la línea T-45 como progenitor masculino. Es de ciclo intermedio, secado rápido, con un ciclo de 120 a 130 días en verano. Es resistente a la micoplasmosis y a las altas temperaturas en verano prevalientes en el sur de Sonora, donde no sufre fogueo en las hojas y el enrollamiento foliar es ligero. Fue liberado por el INIFAP en el año de 1993. Es resistente a la roya y al achaparramiento del maíz. Es un híbrido de ciclo vegetativo precoz, florece a los 72 días y madura a los 115 días. La altura de planta es de 1.9 a 2.2 metros y a la mazorca de 1.0 a 1.1 metros. Presenta mazorcas de tamaño mediano, uniformes y de muy buena cobertura y el color del grano es blanco. Es resistente al acame y a la pudrición de la mazorca. El rendimiento de grano es de 6.3 toneladas por hectárea y el de rastrojo es de 14 toneladas por hectárea. Días a floración: 70 en otoño-invierno. Días a madurez fisiológica: 140 a 150. Rendimiento comercial medio: 5 a 6 ton/ha. Condiciones de humedad para la siembra: Riego. Rango de adaptación: el noroeste y condiciones similares del país. Características importantes: Tiene hojas semirrectas, tolera altas temperaturas y déficit hídrico. La mazorca es cilíndrica con 12 a 169 hileras. El grano es blanco y semidentado.

El híbrido Pioneer 30G54 es un grano blanco, mientras que el híbrido A-pantera es un grano amarillo.

Concepto de calidad

Calidad

La calidad es un conjunto de propiedades o atributos que configuran la naturaleza de un producto o una cosa. La palabra calidad también puede ser definida de acuerdo al parámetro que se este midiendo, es decir de acuerdo al interés de la persona que la evalúa. Por lo tanto, este parámetro variará si nos referimos a un porcicultor, a un procesador o a un consumidor (Serna-Saldivar, 1996).

La calidad en el alimento

La calidad de los granos, o bien materias primas para la fabricación de alimentos para cerdo, es un concepto que no tiene una definición única. La importancia de los diferentes aspectos cualitativos difiere en función del segmento de la cadena alimenticia que los analice. Para alimentos para cerdo, atributos como el porcentaje de proteína, aminoácidos, grasa, humedad, ceniza carbohidratos, sabor etc. son vitales para la decisión y fidelización de un alimento de buena calidad. Aunado a esto, los alimentos deben de ser económicamente competitivos y no aportar un exceso de nutrimentos, para de esa manera optimizar la síntesis del producto (carne, leche o huevos), disminuyendo el impacto de la producción animal sobre el medio ambiente (Shimada, 1983).

Propiedades físicas del grano relacionado con la calidad

Peso hectolítrico. El peso hectolítrico es el criterio más utilizado para determinar el grado y la calidad de los cereales. Esta prueba se relaciona con la densidad real del grano y por lo tanto, con la textura del endospermo o con el contenido de proteína y estado de salud del grano.

Grano más denso. Menos daños por insectos, menos problema de almacenamiento e influye positivamente en los rendimientos de molienda.

Granos menos densos. Indica grano dañado por insectos, mayor humedad y menor contenido de proteína.

Material extraño. Es todo material presente en el lote del grano que es ajeno al mismo (otros granos, piedras, tejido vegetativo, etc.). Además de mermar, el material extraño sirve de substrato, protección para insectos y afecta negativamente la calidad de la molienda (sabor, color, funcionalidad de harinas).

Granos dañados. Aquellos que muestran alguna evidencia visual que obviamente no aparecen en los granos suaves. Hay varias categorías.

- **Daños por insectos.** Daños como agujeros y presencia de material telarañoso. Signo que los insectos utilizaron el cereal como alimento o sitio para ovipositar.
- **Daños por calor.** Muestran colores más fuertes por que fueron secados a altas temperaturas o mal almacenados. Un grano que se almacena con alta humedad, genera calor o focos calientes dentro del granel. Este calor hace que el grano cambie de color modificando a su vez a los nutrientes e inclusive anulando la viabilidad del germen (poder de germinación).
- **Grano germinado.** Estos granos germinados tienen una alta cantidad de almidón dañado, azúcares solubles y acidez, como consecuencia de la actividad amilolítica y lipolítica ocasionada por el proceso fisiológico de la respiración y germinación.
- **Grano con hongos.** Estos granos por lo general muestran menos dureza en el endospermo o peso hectolítrico. Los granos contaminados por los géneros fusarium y aspergillus, probablemente tengan cantidades significativas de alguna toxina que puedan dañar la salud animal y humana (Serna-Saldivar, 1996).

Propiedades químicas del grano relacionado con la calidad

La cantidad y calidad de los nutrientes difiere de los distintos géneros y especies de los cereales afectando las propiedades nutritivas y funcionales. Uno de los factores que afectan la composición química de los granos, es el genotipo y las condiciones ambientales durante el crecimiento y maduración.

Humedad. La humedad es uno de los criterios más comunes para determinar el grado de calidad de los cereales. Primeramente indica la cantidad de materia seca y segundo dicta la pauta para el manejo del grano durante el almacenamiento. Un valor

mayor al 14 % de humedad es considerado como crítico, ya que esto implica un mayor costo por manejo y una mayor predisposición al deterioro, siendo necesario una aplicación de aireación y secado.

Proteína. Las proteínas difieren notablemente en los distintos cereales inclusive dentro del mismo cereal de una cosecha a otra. Esto es debido a la interacción entre los genotipos y las condiciones ambientales durante el desarrollo y la maduración del grano. Las proteínas se clasifican de acuerdo con su solubilidad en hidrosolubles (albúminas) y solubles en soluciones iónicas débiles (globulinas) que se encuentran principalmente en el germen, teniendo éstas el mejor balance de aminoácidos esenciales, ya que son ricos en lisina.

El 80 % de las proteínas de los granos es de almacenamiento y de reserva. La fracción proteica más abundante en la mayoría de los cereales es la prolamina, la cual se encuentran en los cuerpos llamados proteicos localizados en el endospermo.

Las prolaminas son las proteínas más pobres ya que carecen de aminoácidos esenciales y ricos en aminoácidos no esenciales como prolamina, glicina, ácido glutámico y aspártico. La distribución o balance de los dieciocho aminoácidos influirá en el valor proteico de los granos.

Fracción lipídica. La fracción lipídica se divide en compuestos saponificables e insaponificables.

Saponificables. A su vez se dividen en no polares (triglicéridos) y polares (monoglicéridos, diglicéridos, ácidos grasos libres, fosfolípidos y glicolípidos.). La fracción más abundante son los triglicéridos debido a que es la principal forma de almacenamiento de los lípidos. La mayoría de los ácidos grasos de los triglicéridos son insaturados: 70 % oleico, 15-25 % linoleico, 15-30 % ácido palmítico. Los fosfolípidos, monoglicéridos y diglicéridos se consideran emulsificantes naturales, siendo importantes en la industria de panadería por las propiedades del trigo.

Insaponificables. Los cereales contienen pequeñas cantidades de lípidos insaponificables (esteroles, tocoferoles, ceras y carotenoides). Los carotenoides están presentes en cantidades significativas en aquellos granos con endospermo amarillo (maíz amarillo). La concentración de estos pigmentos es muy importante en fitomejoradores (trigo). El gluten de maíz, que se obtiene en las plantas refinadoras de almidón, es rico en carotenoides y xantofilas. Este producto es preferido por avicultores para lograr la pigmentación de la yema de huevo, piel de pollo y pavo.

Los tocoferoles se encuentran en el germen y tienen actividad de vitamina E, mientras que los esteroles son un grupo de compuestos como el β -sistosterol. Desafortunadamente, los cereales solo contienen cantidades traza de esteroles que pueden ser transformados en vitamina D.

Cenizas. Las cenizas son todo aquel material inorgánico conformado por minerales. La mayoría de los minerales están relacionados con el pericarpio. El endospermo rico en carbohidratos solubles (ELN) y bajo en cenizas y extracto (Sharp, 1990).

MATERIALES Y METODOS

El presente estudio se llevó a cabo en las instalaciones del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C (CIAD, A. C.), ubicado en carretera a la Victoria, Km 0.6 en la ciudad de Hermosillo, Sonora.

Materiales

Se evaluaron granos de maíz común amarillo, seis líneas moleculares de maíz blanco, dos híbridos de grano de maíz MCP blanco (H-431, Pioneer 30G54) y un híbrido de maíz MCP amarillo (A-Pantera), proporcionados por el Centro de Investigación Regional del Noroeste, Campo Experimental Valle del Yaqui.

Caracterización física

Peso hectolítrico / peso de mil granos

Para la determinación del peso hectolítrico se utilizó el procedimiento 55-10 de la AACC (1995). Un recipiente de volumen conocido se llenó de granos y se pesó en una balanza analítica. El peso hectolítrico se obtiene al dividir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionado al volumen de 100 L. Las mediciones se realizaron con 10 repeticiones. El peso de 1000 granos se determinó en 1000 granos seleccionados al azar. La prueba se realizó por triplicado.

Dimensiones físicas.

Se midió longitud, anchura, y grosor, utilizando un calibrador Escala modelo UNOX (Metro Mx., S. A, México, D.F.). Las dimensiones se determinaron en 25 semillas seleccionadas al azar y se efectuaron por triplicado.

Caracterización química

Humedad

Se determinó la pérdida de peso de la muestra después de ser sometida a calentamiento. Se utilizaron 2 g de muestra y una temperatura de 130° C por una hora, en una estufa con circulación forzada de aire (método 934.01, AOAC, 2000).

Proteína.

El porcentaje de proteína cruda se calculó a partir del nitrógeno total utilizando un factor de 6.25. En la determinación del nitrógeno total se utilizó el método de Kjeldhal. La digestión se realizó con ácido sulfúrico concentrado y en la destilación se utilizó hidróxido de sodio al 40% (P/V). El destilado se recogió en una disolución de ácido bórico al 4 %. Para la titulación se utilizó una solución valorada de ácido sulfúrico (método 960.52, AOAC, 2000).

Grasa.

La determinación de grasa cruda se realizó de acuerdo al método 923.03 de la AOAC, 2000. Las extracciones se realizaron en muestras de 1 g de harina que pasaran a través de la malla 80 (0.180 mm). Se utilizó un equipo Soxhlet System HT 1043 Extracción Unit (Tecator, Suecia). Se utilizó el disolvente éter de petróleo. La determinación se realizó por triplicado (método 920.39, AOAC, 2000).

Cenizas.

La determinación de cenizas se realizó utilizando el método 923.03 de la AOAC, 2000. Se pesaron de 3-5 g de muestra, la cual se colocó en un crisol de porcelana, y se incineró en una mufla a aproximadamente 550 ° C, hasta que se produjo una ceniza gris luminosa. Se enfrió en un desecador y se pesó al alcanzar la temperatura ambiente.

Perfil de aminoácidos por HPLC

Las muestras se hidrolizaron en un exceso de HCL 6N a vacío de 3 a 6 h

dependiendo del contenido de proteína y se evaporaron a sequedad a 65 ° C en rota vapor. El hidrolizado seco se llevó a un volumen de 2 mL con buffer de citrato pH = 2.2. Se añadió o- phtaldialdehido (OPA) como agente derivatizante. Se utilizó un detector de fluorescencia a 340 nm y tetrahidrofurano al 1%, columna RP-C-18 (10 x 4.6 mm) y fase móvil de metanol-acetato de sodio a un pH= 2.2 (Vázquez y col, 1995).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se sometieron a un análisis de varianza de una vía y un análisis de contrastes ortogonales con un nivel de significancia de 0.05, empleando el programa estadístico NCSS 6.0, versión 3.1. 2001 (NCSS 2001).

RESULTADOS Y DISCUSION

La calidad del grano de los cereales, de las leguminosas y de las oleaginosas, es un concepto que cada vez adquiere mayor relevancia en los programas de mejoramiento genético, para brindar respuestas a los cambios en las demandas y necesidades del consumidor, y de los industriales que benefician el grano y los subproductos de éste. Las características físicas y químicas del grano sano y entero de maíz, pueden variar ampliamente según el criollo, la variedad o híbrido que se utilice. Estas características se ven influenciadas también por el ambiente y el manejo agronómico, así como por el secado y las condiciones de almacenamiento. La industria tecnificada de la producción de harina nixtamalizada, para optimizar sus procesos industriales tiene que establecer especificaciones sobre las características físico-químicas del grano, que le permitan programar los grandes volúmenes de hidróxido de calcio, tiempos de cocción y de remojo, entre otras. El grano de cultivares de maíz con peso hectolítrico elevado y mayor dureza de endospermo, que absorben más agua y tienen un contenido más elevado de proteína, producen las tortillas de mejor calidad. A mayor dureza del endospermo, el tiempo de cocción es mayor (Bresani, 1999).

Las líneas moleculares CML-176 y CML-186 son de origen tropical, mientras que la CML-142 , CML-144 son de origen subtropical. Las combinaciones entre líneas tropicales y subtropicales brindan mayor heterosis y una adaptación más amplia. Para complementar la información sobre los híbridos, es importante evaluar a sus líneas progenitoras, en especial los datos de floración femenina y masculina, los cuales no son parte del presente estudio.

Composición física

En el Cuadro 5, se muestran las características físicas del maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos.

Los valores para Peso de Mil Granos (PMG) son variables y van desde 18.52 g en CML-149 hasta 40.63 g en A-PANTERA. Los valores de PMG son más altos que el encontrado para maíz amarillo de 23.06 g con excepción de CML-149 y CML-144. De acuerdo al análisis estadístico realizado, se encontró diferencia significativa ($P < 0.05$) entre el maíz amarillo y las líneas moleculares, entre el maíz amarillo y los híbridos en general, entre el maíz amarillo y el híbrido P30G54 y entre el maíz amarillo y el híbrido A-Pantera. Estos datos se encuentran dentro de los valores reportados por Ortega y col (2001), para híbridos de maíz CPM, que van desde 28.5 a 35.9, con excepción de las líneas moleculares CML-144 y CML-149.

Los valores de peso hectolitrico o densidad fueron variables encontrándose rangos que van desde 70.10 Kg/hl en MA hasta 80.10 Kg/hl en CML-186. Los valores siempre fueron mayores que el encontrado para maíz amarillo de 70.10 Kg/hl, el cual coincide con el valor reportado de 70 Kg/hl en la Norma Oficial Mexicana para maíz amarillo, NMX-FF-034-1995-SCFI. Los valores encontrados para el maíz amarillo en comparación a las líneas moleculares fueron estadísticamente diferentes ($P < 0.05$), asimismo entre maíz amarillo e híbridos en general, maíz amarillo y P30G54, maíz amarillo y A-Pantera y maíz amarillo y H-421. La mayor densidad de los granos MCP permite que tengan menos daños por insectos, menos problemas de almacenamiento e influye positivamente en los rendimientos de molienda.

Los valores de las dimensiones físicas del grano, anchura, grosor y longitud, fueron variables y van para anchura desde 7.04 mm en CML-149 hasta 8.73 mm en CML-150; para grosor desde 4.10 mm en H-431 hasta 6.25 mm en A-Pantera; para longitud desde 7.95 mm en CML-149 hasta 11.32 mm en H-431. Estos valores siempre fueron mayores en las líneas moleculares e híbridos con respecto al maíz amarillo, las cuales fueron: anchura 6.90 mm, grosor 3.03 mm y longitud de 9.02 mm. Los valores de grosor fueron estadísticamente diferentes, no así los correspondientes a anchura y longitud.

Cuadro 5.- Características físicas de granos de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-43, A-PANTERA Y P30G54.

	PMG (g) ^{abdef}	Peso hectolitro (Kg/ hl) ^{abdef}	Anchura	Grosor mm. ^{abdef}	Longitud
Maíz amarillo	23.06	70.10	6.90	3.03	9.02
CML-176	31.81	78.30	8.49	5.12	10.12
CML-186	34.71	80.10	8.58	5.56	9.99
CML-150	30.68	79.90	8.73	5.66	10.34
CML-142	28.34	75.10	8.13	5.29	9.93
CML-149	18.52	70.70	7.04	5.42	7.95
CML-144	22.43	80.00	8.08	4.77	10.04
H-431	30.31	73.80	8.48	4.10	11.32
A-PANTER	40.63	79.90	8.57	6.25	10.85
P-30G54	40.06	76.00	8.19	4.69	9.02

Valores con subíndices en los parámetros son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia de 0.05

PMG = Peso de mil granos

^a = Contraste 1: maíz amarillo vs. líneas moleculares

^b = Contraste 2: maíz amarillo vs. Híbridos

^c = Contraste 3: líneas moleculares vs. Híbridos

^d = Contraste 4: maíz amarillo vs. H341

^e = Contraste 5: maíz amarillo vs. A-PANTERA

^f = Contraste 6: maíz amarillo vs. P30G54

Composición química.

En el Cuadro 6, se muestran las características químicas del maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos.

El contenido de humedad fue variable, encontrándose rangos que van desde 13.99 % para P-30G54 hasta 15.52 % para CML-142, En general, en las líneas moleculares el contenido de humedad fue mayor al 14 %, no así para los híbridos, con excepción del H-431 que presentó una humedad del 14.28 %. El contenido de humedad del maíz amarillo fue de 13.06 %, valor menor al encontrado en las líneas moleculares e híbridos. Sin embargo, no se encontró diferencia estadísticamente significativa ($P > 0.05$). Los valores de humedad encontrados en este estudio siempre fueron más altos que los reportados por INIFAP, 2001 y por la Norma oficial mexicana para maíz NMX-FF-034-1995-SCFI. La variabilidad en el contenido de humedad, puede estar influenciada por el tipo de grano. De igual forma, las condiciones climáticas, la temperatura media y la precipitación pluvial podrían afectar estos valores, así como también las condiciones de secado del grano. Un valor mayor al 14 % de humedad es considerado como crítico, ya que esto

implica un mayor costo por manejo y una mayor predisposición al deterioro y durante su almacenamiento pueden crecer hongos y producir pérdidas importantes (Watson, 1987).

El contenido de grasa varió entre 3.11 % en CML-149 y 5.52 % en CML-176. En el maíz amarillo se encontró un valor de 5.65 %, valor superior al encontrado en las líneas moleculares e híbridos, con excepción del CML-176. Se encontró diferencia significativa entre maíz amarillo y líneas moleculares, maíz amarillo e híbrido, maíz amarillo y P30G54 y maíz amarillo H-431. A pesar de la diferencia aritmética entre el maíz amarillo (5.65) y A-Pantera (3.78) y entre híbridos y líneas moleculares no se encontró diferencia estadísticamente significativa. Los valores encontrados en este estudio fueron inferiores a los reportados por Mendoza-Elos y col (2006) y los reportados por Méndez-Montalvo (2005). El valor encontrado para P30G54 de 4.32 % fue muy similar al reportado para ese mismo híbrido por Mendoza-Reyes (2003) de 4.85 %. Las grasas son importantes desde el punto de vista de estabilidad y proceso, en especial durante la molienda, ya que tienden a oxidarse o enranciarse. Por lo que el principal subproducto de la industria molinera es el germen que contiene más del 30 % de aceite. También son importantes durante el almacenamiento de los granos, si éste no es adecuado, se pueden producir olores y sabores indeseables debido a la oxidación o enranciamiento de los lípidos.

El contenido de proteína total en el grano fue variable, encontrándose rangos que van desde 8.24 % en A-Pantera hasta 11.68 % en CML-144. Los híbridos presentaron un contenido menor de proteína (H-431 9.35 %, P-30G54 9.37 % y A-Pantera 8.24 %) en relación a las líneas moleculares ($P < 0.05$), pero mayor que en el maíz amarillo (9.27 %), con excepción de A-Pantera ($P < 0.05$) como se puede observar en el cuadro 6. Estos valores son similares a los reportados de 6.0 a 12.0 % para híbridos cultivados en diferentes localidades (Watson, 1987; Paredes-Lopez y col, 2000). Así como también a los reportados por Méndez-Montalvo y col (2005). Los valores encontrados para los granos blancos (H-431 y P-30G54) fueron muy similares a los reportados por Mendoza-Reyes (2003), de 9.46%. En general, se encontró para las líneas moleculares el contenido de proteína en el grano más bajo fue de 8.90 % para CML-149 y el contenido

de proteína más alto correspondiente a 11.68 % para la línea molecular CML-144. El contenido de proteína en los híbridos H-431, A-PANTERA y P-30G54 fue de 9.35 %, 8.24 % y 9.37 % respectivamente, valores más bajos que los encontrados para las líneas moleculares ($P < 0.05$). Sin embargo, en el maíz MCP se mejora la calidad de la proteína respecto a los aminoácidos esenciales, como la lisina y el triptofano, más que el contenido de proteína (Watson, 1987). Estos valores también fueron ligeramente inferiores a los reportados por Mendoza y col (2006), quienes encontraron valores desde 9.65 hasta 10.68%. Sin embargo, estos valores fueron determinados por la técnica de infrarrojo cercano (NIR).

El contenido de cenizas varió entre 1.37 % en A-Pantera y 1.77 % en CML-176, en comparación al encontrado en maíz amarillo de 1.72 %. El contenido de cenizas fue siempre menor en los híbridos analizados en relación al maíz amarillo, así como para las líneas moleculares CML-144 y CML-149 ($P > 0.05$). Estos valores fueron superiores a los reportados por Mendoza-Elos y col, 2006; quienes encontraron valores que van desde 1.38 hasta 1.45% en maíz MCP determinados por una técnica de infrarrojo cercano (NIR) y fueron muy similares a los reportados por Méndez-Montalvo y col (2005), desde 1.3 hasta 1.7%.

El contenido de carbohidratos varió de 66.79% en CML-176 y 72.62% en A-Pantera, en comparación al encontrado en maíz amarillo de 70.3%. El contenido de carbohidratos en los híbridos fue mayor que en el maíz amarillo, pero en las líneas moleculares fue menor con excepción de CML-149 ($P > 0.05$).

Cuadro 6.- Características químicas de granos de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-43, A-PANTERA Y P30G54.

	Humedad ^a	Cenizas	Proteína ^{ac}	Lípidos ^{abedf}	Carbohidratos
Maíz Amarillo	13.06	1.72	9.27	5.65	70.30
CML-176	15.37	1.77	10.55	5.52	66.79
CML-186	15.11	1.81	10.05	4.96	68.07
CML-150	14.69	1.73	11.14	3.98	68.46
CML-142	15.52	1.75	10.66	4.51	67.56
CML-149	14.54	1.39	8.90	3.11	72.06
CML-144	14.68	1.53	11.68	3.47	68.64
H-431	14.28	1.41	9.35	4.33	70.63
A-PANTERA	13.99	1.37	8.24	3.78	72.62
P-30G54	13.69	1.49	9.37	4.32	71.13

Valores con subíndices en los parámetros son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia de 0.05

^a = Contraste 1: maíz amarillo vs. líneas moleculares

^b = Contraste 2: maíz amarillo vs. Híbridos

^c = Contraste 3: líneas moleculares vs. Híbridos

^d = Contraste 4: maíz amarillo vs. H341

^e = Contraste 5: maíz amarillo vs. A-PANTERA

^f = Contraste 6: maíz amarillo vs. P30G54

Composición de aminoácidos esenciales y no esenciales

El contenido de los componentes del endospermo y del embrión del grano de maíz puede variar según el cultivar, el impacto ambiental y el manejo agronómico. Sin embargo, los maíces MCP, siempre tendrán niveles de lisina y triptófano significativamente más elevados, en relación al maíz común.

En el cuadros 7 se presenta la información del perfil de aminoácidos esenciales del maíz amarillo, líneas moleculares y de los híbridos, en los cuales el porcentaje de lisina para el maíz amarillo fue de 0.33 %, mientras que para las líneas moleculares varió de 0.29 % para el CML-149 a 0.60 % para el CML-142 ($P < 0.05$). Lo cual representa un 81.8 % más de contenido de lisina del CML-142 con respecto al maíz amarillo.

Para la línea molecular CML-176 se encontró un contenido de proteína en el grano de 10.55% y un contenido de lisina de 0.41 %. Para la línea molecular CML-186 se encontró un contenido de proteína de 10.05 % y un contenido de lisina de 0.32 %.

En las líneas moleculares el contenido de lisina más bajo fue de 0.29 % para la línea molecular CML-149, lo cual coincide con el valor más bajo de proteína en el grano, y el valor más alto fue de 0.52 % para la línea molecular CML-144, lo cual también coincide con el valor más alto de proteína en el grano.

El contenido de lisina en los híbridos H-431, A-PANTERA y P-30G54 fue de 0.63 %, 0.42 % y 0.27 % respectivamente, valores más altos que el encontrado en el maíz amarillo de 0.33 % ($P < 0.05$), con excepción del P-30G54. Sin embargo, para este último, los valores no son estadísticamente diferentes ($P > 0.05$). Estos resultados coinciden con los valores reportados por Burgoon y col, 1992 quienes encontraron un valor de 0.4 %, con Ortega y col, (2001), donde se reportan valores de 0.425, 0.46, 0.45 % de lisina en híbridos de maíz MCP. Estos valores fueron superados por el híbrido H-431 evaluado en este estudio. Tomando como referencia los valores del maíz amarillo, la lisina en el H-431 fue 90.9 % más alto, en el A-PANTERA un 27.27 %, mientras que para P-30G54 un 18.18 % más bajo.

En relación al contenido de aminoácidos esenciales se encontraron rangos que van para treonina desde 0.25 % en CML-150 hasta 0.60 % en CML-144; para metionina desde 0.13 % en CML-150 hasta 0.46 % en P-30G54; para fenilalanina desde 0.29 % en CML-142 hasta 0.64 % en A-PANTERA. En el maíz amarillo se encontró un contenido para treonina de 0.31 %, para metionina de 0.20 % y para fenilalanina de 0.50 %. En general, el contenido de aminoácidos esenciales fue mayor en las líneas moleculares que en el maíz amarillo (con diferencias estadísticamente significativas para His, Lis y val) y en los híbridos analizados en relación al maíz amarillo (con diferencia estadísticamente significativa para His, Met, Val y Lis).

En el cuadro 8 se presenta la información del perfil de aminoácidos no esenciales del maíz amarillo, líneas moleculares y de los híbridos. En lo que respecta al contenido de aminoácidos no esenciales se encontraron rangos que van para serina desde 0.29 % en CML-150 hasta 0.82 % en P-30G54; para glicina desde 0.37 % en CML-150 hasta 0.84 % en CML-144; para arginina desde 0.38 % en CML-150 hasta 1.03 % en CML-144. En

el maíz amarillo se encontró un contenido para serina de 0.35 %, para glicina de 0.31 % y para arginina de 0.50 %. En general, el contenido de aminoácidos no esenciales en las líneas moleculares fue más alto que en el maíz amarillo ($P < 0.05$) y también en los híbridos (con diferencia estadísticamente significativa para Ser, Asp, Glu y Ala).

En general, los valores correspondientes a características físicas, fueron mayores para LM e HM que para el MA. Sus características bromatológicas fueron variables. El contenido de humedad, proteína y carbohidratos del MA arrojaron valores menores a los encontrados en LM e HM; por el contrario, el contenido de cenizas y grasa fue siempre menor en los HM analizados en relación al MA. En general, las LM contienen más lisina (42%), isoleucina, valina, histidina, aspártico, glutámico, serina, glicina, arginina y alanina, que el MA (0.33%). Los HM contienen más lisina (0.44%), leucina, isoleucina, fenilalanina, valina, metionina, tirosina, treonina, histidina, aspártico, glutámico, serina, glicina, arginina y alanina. Los híbridos presentan un mayor contenido de todos los aminoácidos esenciales y no esenciales analizados en comparación al MA.

Cuadro 7.- Perfil de aminoácidos esenciales de grano de maíz amarillo, líneas moleculares e híbridos H-43, A-PANTERA Y P30G54.

	HIS ^{abdef}	TRE ^c	TIR	MET ^{bcd}	VAL ^{abdef}	FEN ^c	ISL	LEU ^{def}	LIS ^{abede}
Maíz									
amarillo	0.25	0.31	0.34	0.20	0.51	0.50	0.39	1.10	0.33
CML-176	0.37	0.38	0.36	0.18	0.65	0.49	0.41	1.12	0.41
CML-186	0.40	0.28	0.21	0.16	0.85	0.43	0.46	1.03	0.32
CML-150	0.28	0.25	0.22	0.13	0.62	0.44	0.27	1.08	0.38
CML-142	0.27	0.28	0.22	0.14	0.40	0.29	0.24	0.67	0.60
CML-149	0.31	0.36	0.31	0.18	0.52	0.46	0.47	1.02	0.29
CML-144	0.61	0.60	0.58	0.28	0.88	0.64	0.51	1.68	0.52
H-431	0.34	0.25	0.21	0.14	0.51	0.31	0.30	0.64	0.63
APANTE	0.37	0.35	0.40	0.20	0.66	0.64	0.46	2.22	0.42
P-30G54	0.35	0.49	0.42	0.46	0.77	0.50	0.58	2.48	0.27

Valores con subíndices en los parámetros son estadísticamente diferentes a un nivel de significancia de 0.05

^a = Contraste 1: maíz amarillo vs. líneas moleculares

^b = Contraste 2: maíz amarillo vs. Híbridos

^c = Contraste 3: líneas moleculares vs. Híbridos

^d = Contraste 4: maíz amarillo vs. H341

^e = Contraste 5: maíz amarillo vs. A-PANTERA

^f = Contraste 6: maíz amarillo vs. P30G54

Cuadro 8.- Perfil de aminoácidos no esenciales de grano de maíz amarillo. líneas moleculares e híbridos H-43, A-PANTERA Y P30G54.

	ASP^{acd}	GLU^{at}	SER^{abf}	GLI^a	ARG^{ac}	ALA^f
Maíz amarillo	0.55	1.49	0.35	0.31	0.50	0.58
CML-176	0.81	1.91	0.40	0.55	0.69	0.73
CML-186	0.75	1.99	0.51	0.46	0.57	0.72
CML-150	0.62	1.81	0.29	0.37	0.38	0.66
CML-142	0.50	1.16	0.34	0.39	0.53	0.40
CML-149	1.31	1.87	0.52	0.50	0.71	0.66
CML-144	1.21	2.75	0.72	0.84	1.03	1.03
H-431	0.64	1.39	0.33	0.47	0.56	0.48
A-PANTE	0.69	2.53	0.72	0.43	0.59	1.40
P-30G54	0.71	3.26	0.82	0.67	0.79	1.32

Valores con subíndices en los parámetros son estadísticamente diferentes a un nivel de 0.05

^a = Contraste 1: maíz amarillo vs. líneas moleculares

^b = Contraste 2: maíz amarillo vs. Híbridos

^c = Contraste 3: líneas moleculares vs. Híbridos

^d = Contraste 4: maíz amarillo vs. H341

^e = Contraste 5: maíz amarillo vs. A-PANTERA

^f = Contraste 6: maíz amarillo vs. P30G54

CONCLUSIONES

El conocimiento de las características físicas y químicas, en particular el contenido de lisina y triptofano, de las líneas moleculares e híbridos de maíz QPM es esencial para cumplir con el desarrollo de nuevos híbridos que puedan ser utilizados ventajosamente en programas de mejoramiento genético desde el punto de vista de calidad nutricia.

La expresión del gen opaco 2 permite duplicar el contenido de lisina convirtiéndolo en un maíz con un valor nutritivo superior al del maíz común.

LITERATURA CITADA

- AACC. 1995. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, Ed. The Association., St. Paul, Minn.
- Acontecer porcino. Anuario 1992. *El cerdo y sus derivados*. Ediciones pecuarias de México. México, D.F.
- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of the Association Analytical Chemists International*. 17 th Ed. Dr. William Horwitz Editor. Gaithersburg, Maryland. 1-7 p.
- Alexander, D.E. 1988. *Breeding special nutritional and industrial maize types*. In G.F. Sprague & J.W. Dudley, eds. *Corn and corn improvement*, 3rd ed.. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy. 869-880p
- Araiza-Piña, Benedicto Alfonso. 2001. *Valor nutricional comparativo del sorgo, maíz y trigo en dietas para cerdo en crecimiento: digestibilidad ileal de aminoácidos*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Baja California.
- ARC (Agricultural Research Council). 1981 *The Nutrient Requirement of Pigs*. Commonwealth Agricultural Bureaux, London.
- Beal, W.J. 1880. *Indian corn Michigan State Board Agriculture Annual Report*. 19: 279-289.
- Bours-Castelo, E. 2006. *Tercer informe de trabajo*. Gobierno del Estado de Sonora.
- Bressani, R. 1999. *Chemistry, technology, and nutritive value of maize tortillas*. *Food Reviews International*, 6(2): 225-264.
- Buraczewska, L., J. Wasilewko, H. Fandrejewski, T. Zebrowska and I.K. Han. 1999. *Formulation of pig diets according to ileal digestible amino acid content*. *Livestock Production Science*, 59 (1): 13-24
- Burgoon, K.G., J.A. Hansen, D.A. Knabe and A.J. Bockholt. 1992. *Nutritional value of quality protein maize for starter in finished swine*. *Journal of animal science* 70 (3): 811-817.

- Campabadal, C.M. 1993. Materias primas utilizadas en la formulación de raciones para cerdos. Fuentes de energía. Asociación Americana de Soya. ASA/ México.A.N. N°121. 1-22p.
- Campabadal, C.M. y H. Navarro. 1996. Clasificación de los ingredientes utilizados en la elaboración de alimentos para animales. Asociación Americana de Soya ASA/ México. A.N. No. 150. 21p.
- Candía-Plata, M.C. 1995. Evaluación del impacto fisiológico de las inmunoglobulinas del suero porcino, empleadas como aditivo alimentario en un modelo murino para lechones. Tesis maestría CIAD.
- CIMMYT. 1988. Maize production regions in developing countries. Mexico, DF. Maize Program, CIMMYT.
- CIMMYT. 1994. Primera parte de 1993/94 world maize facts and trends: Maize seed industries, revisited: emerging roles of the public and private sectors. Mexico, DF. CIMMYT.
- CIMMYT. 1998. A complete listing of improved maize germplasm from CIMMYT. Maize program special report. México, D.F. 14-16p.
- Chutkaew, C. and R.S. Paroda. 1994. Baby corn production in Thailand: a success story. Bangkok, APAARI, FAO.
- Cockerham, C.C. 1961. Implications of genetic variances in a hybrid breeding program. *Crop Science*, 1: 47-52.
- Davis, R.L. 1927. Report of the plant breeder in Puerto Rico. Agriculture Experimental Station Annual Report: 14-15.
- Dintzis, F.R., E.B. Bagley and F.C. Felker. 1995. Shear thickening and flow-induced structure in a system of DMSO containing waxy maize starch. *J. Rheology*, 39: 1399-1409.
- Flores, J.A. 1989. Bromatología animal. 3ª ed. Editorial Limusa. México, D. F. 872-877 p.
- Gallardo-Nieto, J. y J. Galarza-Mercado. 2001. Situación actual y perspectiva de la producción de carne de porcino en México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación(SAGARPA), Coordinación General de

Ganadería, México, D.F. 1-21p.

Gill, D.R. and J.E. Oldfield. 1995. Comparative values of hullless barley, regular barley, corn and wheat for growing pigs. *Journal of Animal Science* 28:34-36.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. *Quantitative genetics in maize breeding*, 2nd ed. Ames, IA, USA, Iowa State University Press.

Hoffmann, F. 1972. *Compendio de vitaminas. Propiedades de las vitaminas y su importancia en la alimentación humana y animal*. La Roche y Cia., S.A. Basilea, Suiza.

Iruega-Evaristo, L.F. 2003. Perspectivas de la red carne de cerdo en México. En FIRA: Dirección de análisis de cadenas productivas y servicios técnicos especializados. 1-13 p.

Jenkins, M.T. 1934. Methods of estimating the performance of double crosses in corn. *Journal of the American Society of Agronomy* 26: 199-204.

Jenkins, M.T. 1935. The effects of inbreeding and of selection within inbred lines of maize upon the hybrids made after successive generations of selfing. *Iowa State College Journal Science* 9: 429-450.

Jones, D.F. 1918. The effects of inbreeding and cross-breeding upon development. *Connecticut Agriculture Experimental Station Bulletin* 207: 5-100.

Larkins, A.B., D.F. Dannehoff, E.O.G.A. Bostwick, and M.A. López. 1994. Opaque 2 modifiers, what they are and how they work. In *Quality Protein Maize, 1964-1994. Proc of the international Symposium on Quality Protein maize* Embrapa/CNPMS. SeteLagoas, MG Brail. 133-148 p.

Lonnquist, J.H. and C.O.Gardner. 1961. Heterosis in intervarietal crosses in maize and its implications in breeding procedures. *Crop Science* 1: 179-183.

Magnavaca, R., A.C. Oliveira, A.R. Morais, E.E.G. Gama, and M.D. Santos, 1989. Family hybrid selection of quality protein maize. *Maydica*, 34: 63-71.

Me Donald, P., R. Edwards, and J.F.D. Greenhalgh. 1998. *Nutrición animal* 4^a ed. Editorial Acribia. Zaragoza España. 568 pp.

- Méndez-Montealvo, G., J. Solarza-Feria, M. Velásquez del Valle, N. Gómez-Montiel, O. Paredes-López, y L. A. Bello-Pérez. 2005. Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(3): 267-274.
- Mendoza-Elos, M., E. Andrio-Enriquez, J.M. Juárez-Goiz, C. Mosqueda-Villagómez, L. Latournerie-Moreno, G. Castañon-Nájera, A. López-Benitez y E. Moreno-Martinez. 2006. Contenido de lisina y triptofano en genotipos de maíz de alta calidad proteica y normal. *Universidad y Ciencia* 22 (2): 153-161.
- Mendoza-Reyes, J. 2003. Análisis proximal de variedades de maíz blanco y amarillo. Tesis de Licenciatura. Escuela de Biología. Universidad Autónoma de Sinaloa.
- NCSS. 2001. Number cruncher statistical system. Guiders lines. Version 6.0.3. USA.
- NRC. National Research Council. 1998. Nutrient Requeriments of Swine. 10th National Academy Press. Washington, D.C.
- Ortega-Corona, A., O. Cota-Agramont, K. Vasal, E. Villegas, H. Orellana-Córdova, y M. Soto-Bareras. 2001. H-441C, H-422C y H-469C, híbridos de maíz de calidad proteica mejorada para el Noroeste y Subtrópico de México. Folleto Técnico No 41 Inifap Produce.
- Paredes-López, O., S.O. Serna-Saldivar, y S.H. Guzman-Maldonado. 2000. Indigenas de México- El caso de la tortilla. El colegio de Sinaloa (Ed), Culiacán, Sinaloa, México.
- Paliwal, R.L. 1986. CIMMYT's expanded maize improvement program. *In* R.N. Wedderburn & C. De Leon, eds. Proceedings 2nd Asian Regional Maize Workshop. Indonesia, Mexico, D. F. CIMMYT. 125-140 p.
- Pandey, S. and C.O. Gardner. 1992. Recurrent selection for population, variety, and hybrid improvement in tropical maize. *Advances in Agronomy* 48: 1-87.
- Poehlman, J.M. 1987. Breeding field crops, 3rd ed. Westport CT, USA, AVI Publishing Company.
- Rosa-Lorea, A., H. León-Castillo, F. Rincón-Sánchez, y G. Martínez- Zambrano. 2006. Efectos genéticos, heterosis y diversidad genética entre híbridos comerciales de maíz adaptados al bajío mexicano. *Revista fitotecnia mexicana* 29(3): 247-254.
-

- Sagarpa. 2002. Producción Agrícola. Centro de estadística agropecuaria.
- Sauer, W., H. Jorgense and R. Misir. 1982. Determining amino acid availabilities in feedstuffs for swine: ileal and fecal analysis. *Feedstuffs* 54 (52): 12-16.
- Serna-Salivar, S.O. 1996. Química, almacenamiento e industrialización de los cereales. AGT Editor, S.A. México.
- Serna-Saldivar, S.O., M.H. Gómez and L.W. Rooney. 1994. Food uses of regular and specialty corns and their dry milled fractions. In A.R. Hallauer, ed. *Specialty corns*, p. 263-298. Boca Raton, FL, USA, CRC Press.
- Sharp, R.N. 1990. Rice: Production, Processing and utilization. Cap. 7. En: *Handbook of Cereal Science and Technology*. K. Lorenz and Kulp (eds). Marcel Dekker, Inc. Nueva York, NY, USA.
- Shimada, S.A. 1983. Fundamentos de nutrición comparativa. 1ª Ed. México D.F. 17-20pp.
- Shull, G.H. 1908. The composition of a field of maize. *American Breeding Association Report* 4: 296-301
- Shull, G.H. 1909. A pure-line method of corn breeding. *American Breeding Association Report* 5: 51-59.
- Steele, R.D. y A.E. Harper. 1991. Conocimientos actuales sobre nutrición. Sexta edición. Organización panamericana de la salud. Washington D.C. pp.80-81.
- Taylor, A.J., D.J.A. Cole. and D Lewis. 1979. *Animal Production* 29: 327-338.
- Trejo-Hernández, L., A. Gil-Muños, M. Sánchez-Hernández, A. Carballo-Carballo. y P. Antonio-López. 2004. Producción de semilla mejorada por organizaciones de agricultores. Caso productora de maíz Teocintle. *Revista fitotecnia mexicana* 27 (1): 93-100.
- Twumasi-Afriyle. 1994. Development and utilization of quality protein maize in Ghana. In: Larkings, B.A., and E.T. Mertz (editors). *Quality Protein Maize 1964-1994. Proceedings of the international Symposium on Quality Protein Maize*. EMBRAPA/CNPMS. Sete Langoas, M.G., Brazil.
- Vasal, S. K., E. Villegas, M. Bjarnason, B. Gelaw. and P. Goerts. 1980. Genetic modifiers and breeding strategies in developing har.

- Vasal, S. K. 1994. High quality protein corn in: Specialty corn A.R. Hallauer Ed. CRC Press. Boca Ratón Fl. 75 p.
- Vázquez-Ortiz, F.A., G. Caire, I. Higuera-Ciaparara. and G. Hernández. 1995. High performance liquid chromatography determination of free aminoacids in shrimp. *Journal of Liquid Chromatography* 18 (10): 2059-2068.
- Villegas, E. y S. Vasal. 1981. Progreso en el mejoramiento de maíz con calidad nutritiva de proteína. Reunión anual del programa cooperativo para el mejoramiento de cultivos alimenticios, 27. Republica Dominicana.
- Watson, A.S. and E.D. Ramstad. 1987. Structure and composition. In *Corn Chemistry and Technology*. Published by the American Association of Cereal Chemists. Inc. St. Paul, M.N.