



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD NUTRICIA
EN DIEZ VARIEDADE DE MAIZ**

T E S I S MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

QUIMICA DE ALIMENTOS

PRESENTAN:

MARTINEZ GARCIA AIDA ITCHEL
MARTINEZ RAMOS YEHIMI



MÉXICO, D.F

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México, a mi tan querida y admirable Facultad de Química que abrieron sus puertas para formarme profesionalmente y por darme la oportunidad de crecer en ella.

Quiero agradecer de manera muy especial y atenta a la M. en C. Angela Sotelo López por el apoyo y confianza brindada en la realización de este proyecto, mi más profundo y sincero agradecimiento.

Al CONACYT por la beca otorgada para la realización de este proyecto.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) Campo experimental Texcoco, por otorgar las muestras de maíz para la realización de este proyecto, al igual que a la maestra Lucía Cornejo por las muestras de maíz brindadas.

A la M. en C. Rosa Maestra Argote por su ayuda técnica, por aportar sus conocimientos en la realización de esta tesis, por su apoyo incondicional y sobre todo por brindar una sonrisa en todo momento.

A la señora Vicky que sin duda es un ser humano incondicional, por su amabilidad, sus innumerables consejos y sus palabras siempre llenas de cariño.

DEDICATORIAS

A mi padre: Adrián Martínez Trejo
un testimonio de cariño y amor, por
tu confianza, por la confianza, y por todo el
apoyo incondicional brindado, por forjar en
mí un espíritu emprendedor, no existe
nada en el mundo con la cual yo pudiera
reemplazarte en mi infinito agradecimiento.

A mi madre: Aida García Fonseca
Con todo el amor del mundo, gracias por
creer en mí, por ser ejemplo a seguir de
fortaleza y lucha por enseñarme a siempre
dar lo mejor y por impulsarme a cumplir
uno más de mis sueños, gracias por estar
siempre a mi lado.

A Dios por darme salud y permitirme lograr una más de mis metas.

A Leonel Palacios:

tu amor, tu más infinito y profundo amor, por estar a mi lado en todo momento, por ser parte de mí, por su
inabarcable esfuerzo de ayudarme, este trabajo también es tuyo por lo que hoy comparto mi triunfo
contigo.

A Valeria Y Leonel Palacios Martínez:

los pequeños, que apenas despiertan a la vida y pronto trataran de alcanzar las estrellas. Porque su
presencia en mi vida siempre será mi gran logro y mi mayor felicidad. Por ser fuente de inspiración a seguir
luchando. Los amo.

A la familia Palacios:

por permitirme ser parte de su familia y por ser un gran ejemplo de unión, mi más sincero cariño en
especial a la Sra. Paty y al Sr. Jaime que me apoyaron y me abrieron las puertas de su casa, mi más
grande reconocimiento porque forman parte de este logro; les tengo una enorme deuda de gratitud.

A mis amigos imborrables:

El tiempo es como las olas que se lleva todo y sólo deja lo auténtico, lo que perdura, les agradezco
mucho a pesar de todos años estos siguen siendo mis amigos, gracias por estar siempre conmigo
incondicionalmente, Erika, Manuel, Marcela y Marco Antonio.

A Yefimi:

gracias por esas horas de trabajo, esfuerzo, conocimiento, por tu amistad y paciencia, por compartir tus
planes y vivir un mismo sueño, por no dejar de luchar por conseguir esta meta, siempre seremos un
buen equipo.

A mis hermanos:

mi amor y los respeto porque han tomado decisiones sabias. Espero siempre sigamos juntos y unidos.
Aprovecho para decirles que los quiero mucho.

*A Mariana Rivas y Tere Carmona por esa amistad tan bonita, por el apoyo incondicional y por que
seguimos juntos en el mismo camino y esperando que la amistad dure para siempre.*

Aida I. Mtz. G.

DICATORIAS

A la memoria de mi tío ABEL RAMOS ESPINOZA

Porque sin ser mi padre me diste lo más maravilloso, amor, comprensión y confianza y a pesar de que ya no estés presente, siempre estas a mí lado porque te llevo en mí pensamiento y en mí corazón.

A Dios y a la virgen:

Por ser la inspiración de todos mis actos, por darme una hermosa familia y por todas las bendiciones que me brinda.

A mi tía

LILIA RAMOS ESPINOSA

Gracias por tus sabios consejos, por estar conmigo cuando te he necesitado, por tu grande amor y por todo aquello que nunca podré agradecerte.

*A mi tierno angelito **Karen Ximena** que ha sido una luz en mi camino. Gracias hija por darme las fuerzas para seguir adelante.*

*A **Mario Beltrán** por ser mi complemento en mi forma de ver y sentir todo lo que nos rodea. Por todo tu apoyo, amor y confianza que me das.*

*A mi primo **Ricardo**, a su esposa **Claudia** y a mis sobrinos **Salmi** y **Elías** por su cariño y apoyo incondicional en cualquier momento, lo que me ha permitido crecer junto con ustedes.*

***Aida** gracias amiga por ayudarme hacer realidad este gran sueño, por compartir conmigo parte de tu vida.*

*A todos mis amigos **Rosa María**, **Esther**, **Anaid**, **Adriana**, **Carolina**, **Esteban** y **Teresa** gracias por estar conmigo en todo este tiempo donde he vivido momentos felices y tristes, gracias por ser mis amigos.*

Gracias mamá por darme la vida.

YEHIMI MARTÍNEZ RAMOS

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE TEMÁTICO	Páginas
INTRODUCCIÓN	1
ANTECEDENTES	3
1. IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN MÉXICO	3
2. ORIGEN DEL MAIZ	3
3. CARACTERÍSTICAS DEL TEOZINTLE	4
4. CLASIFICACIÓN	5
4.1. BOTÁNICA	5
4.2. COMERCIAL	7
4.3. ESTRUCTURAL	8
5. ESTRUCTURA DEL GRANO	9
6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE MAÍZ	11
6.1 ALMIDÓN	12
6.2. FIBRA DIETÉTICA	12
6.3. MINERALES	13
6.4. VITAMINAS LIPOSOLUBLES	13
6.5. VITAMINAS HIDROSOLUBLES	13
7. VALOR NUTRICIONAL DEL MAÍZ	14
8.-MÉTODOS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO	14
8.1.-POLINIZACIÓN EN EL MAÍZ	15
8.1.1.- Variedad de polinización libre	16
8.2.-VARIEDAD	18
9. ENDOGAMIA Y HETEROSIS	19
9.1. ENDOGAMIA	19
9.1.1. Métodos de mejoramiento con endogamia	20
9.2. HETEROSIS	20
10. PUREZA GENÉTICA DEL MAÍZ.	21
11. MAÍZ HÍBRIDO	23
11.1. CACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES DE LOS MAÍCES ESTUDIADOS	26
11.2. MAÍZ DE ALTO CONTENIDO PROTEÍNICO	27
12. MEJORAS EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ	29
12.1. PRECOCIDAD DEL MAÍZ	30
12.2. RESISTENCIA AL ACAME	31
13. SIEMBRAS EN VALLES ALTOS CON TEMPORAL DESFAVORABLE.	32
14. PROTEÍNAS	33
14.1. DETERMINACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO DE LAS PROTEÍNAS.	34
14.1.1. Métodos biológicos.	35
14.1.2. Métodos químicos.	38

14.1.3. Métodos enzimáticos y microbiológicos.	39
OBJETIVOS	41
METODOLOGÍA	42
1. DIAGRAMA GENERAL DE INVESTIGACIÓN	42
2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA	43
3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA	43
3.2. ANÁLISIS PROXIMAL	44
3.2.1. Determinación de humedad analítica	44
3.2.2. Determinación de grasa cruda	44
3.2.3. Determinación de Proteína	44
3.2.4. Determinación de ceniza	45
3.2.5. Determinación de fibra cruda	45
3.2.6. Cálculo de Hidratos de carbono digerible	45
3.3. DETERMINACIÓN DE TRIPTOFANO POR HPLC	46
3.4. EVALUACION NUTRIMENTAL	46
3.4.1. Preparación de las dietas para el estudio biológico	46
3.4.2. Evaluación Biológica (REP)	49
3.4.3. Conversión alimenticia	49
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
CONCLUSIONES	62
BIBLIOGRAFÍA	64
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS		Páginas
Tabla 1	Composición química proximal de las partes de los granos de maíz (g/100g de muestra)	11
Tabla 2	Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz	12
Tabla 3	Regiones donde se tienen híbridos de maíz.	26
Tabla 4	Características sobresalientes de algunos híbridos de maíces.	27
Tabla 5	Composición de las dietas empleadas en la prueba biológica (g/100g de dieta)	47
Tabla 6	Composición de las dietas (teozintle) empleadas en la prueba biológica (g/100g de dieta)	48
Tabla 7	Composición de las dietas control y teozintle adicionadas con 6.9 g de caseína empleadas en la prueba biológica (g/100g de dieta)	48
Tabla 8	Composición química de diez variedades de maíces (g/100g de muestra húmeda)	50
Tabla 9	Contenido de proteína en harina de maíz (g/100g de muestra seca)	51
Tabla 10	Contenido de grasa de harina de maíz (g/100g de muestra seca)	52
Tabla 11	Contenido de cenizas de harina de maíz (g/100g de muestra seca)	52
Tabla 12	Contenido de fibra de harina de maíz (g/100g de muestra seca)	53
Tabla 13	Contenido de hidratos de carbono	54
Tabla 14	Contenido de triptofano presente en la proteína de maíz	55
Tabla 15	Incremento del peso corporal de las ratas alimentadas con las dietas de ensayo	56
Tabla 16	Conversión alimenticia dieta teozintle.	58
Tabla 17	Conversión alimenticia dieta híbridos y criollo.	59
Tabla 18	Valores de REP y REP ajustado.	60

ÍNDICE DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Maíz (<i>Zea mays</i>)	3
Figura 2. Euchlaena (teozintle)	5
Figura 3. Inflorescencia del maíz	6
Figura 4. Estructura del grano	10
Figura 5. Técnica de elaboración de maíz transgénico	24
Figura 6. Curva de crecimiento de los animales de prueba alimentados con las dietas de estudio y el control de caseína	57

INTRODUCCIÓN.

El maíz (*Zea mays*), pertenece a la familia de las gramíneas. En México, el cultivo de maíz es el de mayor relevancia nacional, ya que en nuestro país se destina principalmente para consumo humano, debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, no se les puede considerar sólo una fuente de energía, sino que además suministran cantidades notables de proteínas. Los granos de cereal tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos indispensables, sobre todo lisina y triptofano.

Por lo que es importante estudiar los nuevos avances de modificación genética en maíces en cuanto a la aportación de macronutrientes que éstos nos beneficiarán en la alimentación.

Los maíces híbridos son el resultado de cruzar un tipo de maíz con otro tipo, lo que produce una semilla que en la próxima cosecha dará por ejemplo muchas mazorcas y grandes rendimientos, pero sólo en la cosecha del primer año, la explicación de este fenómeno se debe a que en la siguiente siembra, las plantas se polinizan entre sí degenerando la cruce original, de manera que al sembrarse de nuevo produce mucho menos que las del primer año.

Se dispone de nuevos híbridos con adaptación a los diferentes sistemas de producción de la región. Estos nuevos materiales tienen mayor rendimiento de grano, mejores características de calidad industrial (masa, tortilla y harina nixtamalizada), mayor valor nutricional esto se refiere a un contenido alto de proteína, presenta mayor resistencia a enfermedades e insectos, es más resistente al acame y a la sequía.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (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. En el mercado mexicano hay disponibles semillas híbridas producidas por centros de investigación como el INIFAP que no tienen patentes y que también garantizan altos rendimientos.

Se ha informado que los nuevos híbridos conocidos como Quality Protein Maize (QPM) duplican la cantidad de aminoácidos del tipo lisina y triptofano, además son 73.5 por ciento más digeribles que los del grano común. Es de suma importancia que este tipo de híbrido se pueda industrializar para que seamos beneficiados todos los consumidores principalmente niños y mujeres embarazadas para cumplir con las necesidades diarias de los aminoácidos indispensables ya que la carencia proteínica produce una disminución de la masa muscular, un metabolismo lento, bajo rendimiento físico e intelectual, fatiga, apatía, y deterioro general de

todo nuestro organismo. La dieta diaria debe contener proteínas tanto animales como vegetales en una manera proporcionada, ya que nuestro organismo aprovecha los aminoácidos que componen a esas proteínas que provienen tanto de origen animal como proteínas de origen vegetal.

En este estudio se evaluó el contenido de los macronutrientes mediante un análisis proximal en diez variedades de maíz, se determinó el contenido de triptófano por HPLC y la calidad proteínica por medio de la prueba biológica de relación de eficiencia proteínica (REP) a una variedad representativa de un híbrido, un híbrido de proteína de alta calidad, un primitivo y un criollo; con el objeto de definir algunas de sus características nutricionales, ya que la prueba de REP depende de la biodisponibilidad de los aminoácidos y representa una medida de la eficacia con que puede ser utilizada por el organismo.

ANTECEDENTES

1. IMPORTANCIA DEL MAÍZ EN MÉXICO

El maíz es un producto de gran importancia social y económica en México, ocupa el 62% de la superficie cultivada. Es uno de los elementos clave de la cultura mexicana, fuente principal de carbohidratos para la mayoría de la población su cultivo se extiende a lo largo de todo el territorio nacional en distintos contextos geográficos, ecológicos, tecnológicos y sociales (Tadeo *et al*, 2004 b)

México es el centro de origen de maíz y sigue siendo la mayor sede de diversidad de la especie; es el cuarto productor e importador a nivel mundial del grano. El mercado mundial del maíz se encuentra en expansión, tanto para el consumo animal como para el uso industrial y el consumo humano directo, por eso el país importa cada vez más grano a pesar del aumento constante en la producción. (Ekboir *et al*, 2004); en la figura 1, se presenta una ilustración del maíz.

Figura 1. Maíz (*zea mays*)



2. ORIGEN DEL MAÍZ

El maíz es una planta herbácea que pertenece a la familia gramínea, se divide en tres géneros americanos, los cuales son:

- ***Zea***: el cual es de suma importancia en la agricultura.
- ***Tripsacum***: el cual posee cierto valor como cultivo forrajero, pero ninguno como cultivo de grano
- ***Euchlaena*** (teozintle): que es el pariente más cercano del maíz.

El género ***Zea*** está representado por la especie única ***Zea mays***, es un cultivo muy remoto de unos 7000 años de antigüedad, de origen americano que se cultivaba por las zonas de México y América central. Hoy en día su cultivo está muy difundido por todo el resto de

países y en especial en toda Europa donde ocupa una posición muy elevada. EEUU es otro de los países que destaca.

El maíz es una de las pocas especies diploides de cultivos alimenticios y tiene un juego básico de diez cromosomas.

El *Tripsacum* se encuentra desde México hasta Brasil y en la porción oriental y occidental de Estados Unidos. La forma diploide contiene 18 pares de cromosomas y la forma tetraploide contiene 36 pares. Probablemente en poblados prehispánicos nunca usaron esta planta como alimento, si bien tiene cierto valor como cultivo forrajero.

Euchlaena (teozintle) se encuentra en México y Guatemala. Tiene 10 cromosomas como el *Zea Mays*. El teozintle perenne tiene 20 pares de cromosomas y se encuentra en una restringida área de México. La forma anual se usa como planta forrajera.

Una gama de argumentos concluyen que el maíz se originó del teozintle, cambios en su composición genética señalan sus características anatómicas y fisiológicas distintas al del maíz común.

Wilkes en 1972 señaló que el teozintle está sufriendo extinción y que este problema es grave tanto por la pérdida de germoplasma, terminando con la introducción de germoplasma extraño en las razas de maíz, sobre todo considerando que esta planta es altamente dependiente del vigor heterótico para su rendimiento. Con respecto al estado de las colecciones de teozintle este autor mencionó que el mayor número de las colectas es el mantenido en el Departamento de Biología de la Universidad de Massachusetts y que además se mantienen otras colecciones por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y por la Escuela Nacional de Agricultura en Chapingo, Méx.

3. CARACTERÍSTICAS DEL TEOZINTLE.

El teozintle se distingue del maíz en que las semillas son dispersadas como segmentos de raquis individuales como resultado de la desarticulación de la espiga. La habilidad para dispersar la semilla, es un carácter ausente en el maíz, permitiendo al teozintle ser una planta silvestre. (Robert W. 1981)

El maíz cultivado difiere de esta planta silvestre en su espiga pistilada por lo general solitaria y mucho más grande, envuelta por ocho o más brácteas y formada por numerosas hileras de granos libres, dispuestos alrededor de un eje sólido y fuerte.

Su tamaño es de 1-2 m de alto, el tallo mide 1-2 cm de ancho, sus hojas son de 30-65 cm de largo, 2.5-3.5 cm de ancho.

Inflorescencia masculina de 15-25 cm de largo y ancho, las espigas están cada una envuelta por una sola bráctea. Espigas femeninas se encuentran en una vaina, de 5-8 cm de longitud y de 1-1.5 cm de ancho.

Espiguillas dispuestas en dos hileras con 5 a 12 granos, con una longitud de 7.5-10.5 mm y de ancho 2-3.8 mm, a menudo pediceladas, los pedicelos miden hasta 7 mm de longitud.

Plántulas: Coleóptilo oblongo lanceolado de 12 a 23 mm de largo; primera hoja con vaina de 10 a 45 mm de largo, sin pelos, lígula laminar de 0.5 mm de alto con ápice denticulado, lámina oblanceolada a lanceolada de 12 a 60 mm de largo y 7 a 12 mm de ancho, sin pelos; segunda hoja similar a la primera, de 25 hasta 128 mm de largo y 5 a 11 mm de ancho, ápice acuminado (Espinosa y Sarukhán, 1997). En la figura 2 podemos observar las características del maíz Teozintle.

Figura 2. Euchlaena (teozintle)



MAÍZ (*Zea mays*)

4. CLASIFICACIÓN:

La clasificación del maíz puede ser botánica o taxonómica, comercial y estructural.

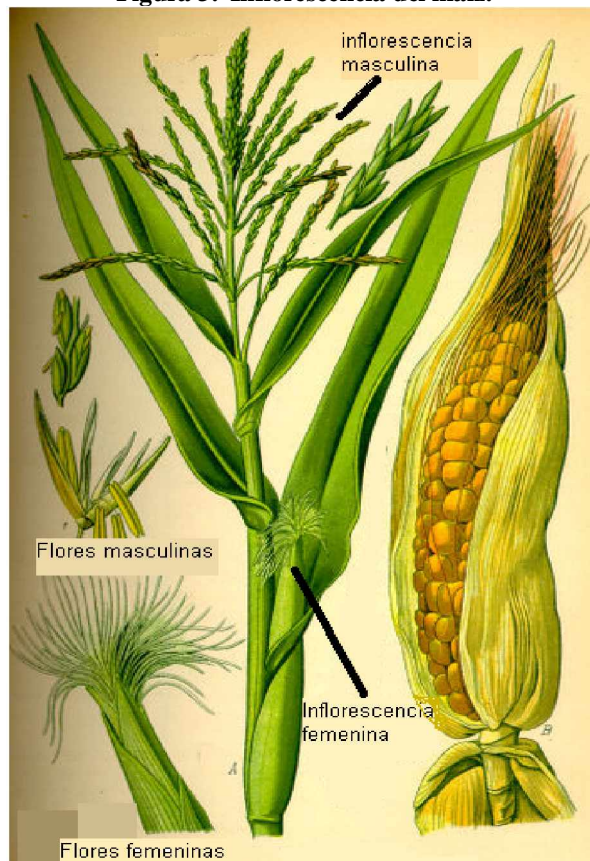
4.1 BOTÁNICA:

El tallo es simple erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 metros de altura, es robusto y sin ramificaciones. El maíz es de inflorescencia monoica con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta.

En cuanto a la inflorescencia masculina presenta una panícula (vulgarmente denominadas espigón o penacho) de coloración amarilla que posee una cantidad muy elevada de polen en el orden de 20 a 25 millones de granos de polen. En cada florecilla que compone la

panícula se presentan tres estambres donde se desarrolla el polen. En cambio, la inflorescencia femenina marca un menor contenido en granos de polen, alrededor de los 800 o 1000 granos y se forman en unas estructuras vegetativas denominadas espádices que se disponen de forma lateral. La figura 3 representa la inflorescencia, tanto masculina, como femenina del maíz.

Figura 3. Inflorescencia del maíz.



Las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta. En algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo y suele ocurrir en aquellas raíces secundarias o adventicias.

Desde que se siembran las semillas hasta la aparición de los primeros brotes, transcurre un tiempo de 8 a 10 días, donde se ve muy reflejado el continuo y rápido crecimiento de la plántula.

El maíz requiere una temperatura de 25 a 30°C. Requiere bastante incidencia de luz solar y en aquellos climas húmedos su rendimiento es más bajo. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C.

El maíz llega a soportar temperaturas mínimas de hasta 8°C y a partir del 30°C pueden aparecer problemas serios debido a mala absorción de nutrientes, minerales y agua. Para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C. (Robert B. 1990).

4.2. COMERCIAL

Desde el punto de vista de compraventa, este cereal se clasifica de la siguiente manera:

4.2.1. Maíz blanco

La norma oficial mexicana lo define como el maíz que corresponde a este color, que presenta un valor menor o igual a 5% de maíces amarillos y que contenga como máximo 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado). Un ligero tinte cremoso o rosado, no influye para designarlo como blanco.

Este maíz contiene menor contenido de aceite y almidón que el maíz amarillo, por lo tanto no es idóneo para la industria almidonera sino para la producción de tortilla. (González, 1995; Oropeza y Ortiz, 1989)

4.2.2. Maíz amarillo

La norma oficial mexicana lo define como aquel maíz de granos amarillos o con un trozo rojizo, y que tenga un valor menor o igual a 6% de maíces de otro color.

Dicho maíz es muy importante actualmente porque es el más utilizado en la industria por su alto contenido de aceite y almidón.

Este maíz es procesado en la industria almidonera, ya que el gluten forrajero es muy codiciado por los ganaderos, debido a su contenido de carótenos (precursores de la vitamina A). También se utiliza en la fabricación de frituras de maíz, dada la coloración final del producto. (Tadeo *et al*; 2005, González 1995)

4.2.3. Maíz mezclado

La norma oficial mexicana estipula dos tipos diferentes de mezclado:

- Mezclado 1. Lo define como todo aquel maíz blanco que contenga entre el 5.1 y el 10% de maíces amarillos, así como el maíz amarillo que presenta un valor entre el 5.1 y el 10 % de maíces blancos. Ambos sin sobrepasar el 5% de maíces oscuros.

- Mezclado 2. Son aquellos maíces blancos que presentan más del 10% de maíces amarillos, así como los maíces amarillos que contengan más del 10% de granos blancos. Ambos sin sobrepasar el 5% de maíces oscuros. (González 1995)

4.2.4. Maíz pinto

La norma oficial mexicana lo define como todo aquel maíz blanco, amarillo y mezclado que contenga más del 5% de maíces oscuros (rojo, azul y morado).

Este maíz no es muy aceptado por la industria harinera ya que imparte una coloración no deseada al producto final. (González 1995)

4.3. ESTRUCTURAL

Sturtevant, (1899), citado por Reyes (1990), encontró seis grupos o razas diferentes de maíz en atención a los caracteres del grano, pues al ser este el principal producto comercial, cita Llanos (1984), el maíz se clasifica de esta forma, por características distintivas basadas en la apariencia, composición y propiedades físicas del grano es decir, de acuerdo con González (1995) y Alfaro *et, al* (2004), está en función de la calidad, cantidad y patrón de composición del endospermo, los cuales están afectados por muchas mutaciones que pueden alterar el tipo y cantidad de carbohidratos, incluyendo el almidón encontrándose en cada raza, variedades agrícolas adaptadas a condiciones ecológicas definidas.

Estos grupos o razas son los siguientes:

4.3.1. Maíz duro o cristalino (*Zea mays indurata*)

Granos grandes, lisos, redondos y de consistencia madura, una gruesa capa de endospermo corneo o cristalino, que cubre completamente el núcleo harinoso. Este tipo de maíz es de cualquier clase (blanco, amarillo o mezclado). Cultivado donde hay problemas de almacenamiento y conservación del poder germinativo, tiene usos generales en la alimentación humana y animal (Llanos, 1984; González, 1995)

4.3.2. Maíz dentado (*Zea mays indentata*)

Los granos tienen forma aplanada caracterizada por una depresión o “diente” en la corona del grano que se origina por la contracción del endospermo harinoso a medida que el grano va secándose (Llanos, 1984). Tiene una cantidad variable de endospermo corneo (duro) y harinoso (suave). La parte cornea está a los lados y detrás del grano, mientras que la porción harinosa se localiza en la zona central y en la corona del grano.

Se usa principalmente como alimento animal, materia prima industrial y para la alimentación humana. (González, 1995)

4.3.3. Maíz blando o harinoso (*Zea mays amilaceo*)

Maíz muy suave, semidentado, corona redonda, se caracteriza por un endospermo harinoso, sin endospermo cristalino, fácil de moler. Muy susceptible a plagas de almacén, en el campo es atacado por hongos, por lo tanto su área de cultivo se restringe a lugares de clima seco en tiempo de cosecha. En el país se usa para hacer pozole. (Llanos, 1984; González, 1995; Reyes, 1990)

4.3.4. Maíz dulce (*Zea mays saccharata*)

La variedad de este maíz son dentadas, cristalinas o “palomeros” que han perdido la propiedad de producir almidón. Tienen granos de apariencia translúcida superficie arrugada

incompletamente formados. En este tipo de maíz, la conversión del azúcar en almidón es retardada durante el desarrollo del endospermo. (Llanos, 1984; González, 1995; Reyes, 1990)

4.3.5. Maíz palomero (*Zea mays everta*)

Maíz de granos pequeños y redondos (como perlas), o puntiagudos (como el arroz), cuyo endospermo esta formado casi en su totalidad por almidón vidrioso.

Es una de las razas más primitivas y es una forma extrema de maíz cristalino. Se caracteriza por un endospermo cristalino muy duro, que solamente tiene una pequeña porción de endospermo harinoso.

Se emplea principalmente para consumo humano en la forma de rosetas (palomitas), dada su característica de expansión al someterse al calor.

La capacidad de reventar parece estar condicionada por la proporción relativa de endospermo córneo, en el que los gránulos de almidón están incrustados en un material coloidal tenaz y elástico que resiste la presión de vapor generada dentro del grano al calentarse, hasta que alcanza una fuerza explosiva, que lo hace aumentar su volumen original unas 30 veces. (Llanos, 1984; González, 1995; Reyes, 1990)

4.3.6. Maíz tunicado (*Zea mays tunicata*)

Se caracteriza porque cada grano está encerrado en una vaina o túnica. La mazorca está cubierta con “espatas” como los otros tipos de maíz. Se usa como ornamento o como fuente de germoplasma en los programas de fitomejoramiento. (Llanos, 1984; González, 1995; Reyes, 1990)

4.3.7. Maíz céreo (*Zea mays cerotina*)

El grano tiene un endospermo con fractura semejante a la cera, el aspecto del grano es vítreo; el almidón consiste de amilopectina de la cual tiene una estructura molecular con cadena ramificada y un alto peso molecular, por lo cual es muy útil en la industria para la fabricación de gomas, pegamentos y en alimentos con almidón. (Reyes, 1990)

De estos tipos los tres primeros son de carácter poligénico (controlados por varios genes) y los cuatro últimos son de carácter monogénicos (controlado por un gen) (Alfaro *et al*, 2004).

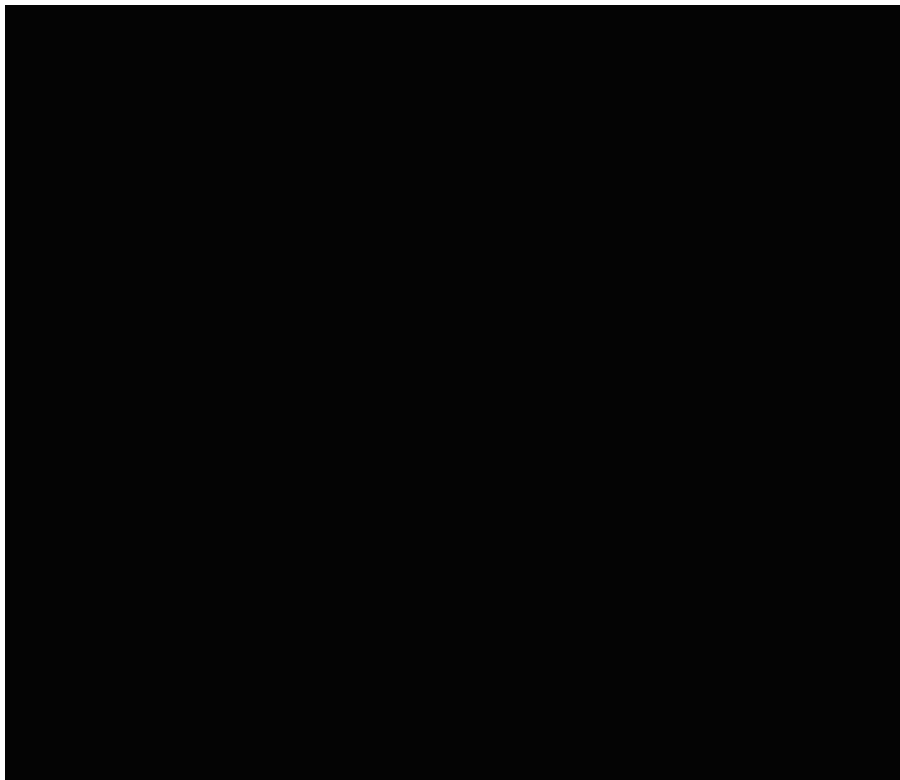
5. ESTRUCTURA DEL GRANO

El maíz comercialmente es llamado grano, botánicamente es una carióspside y en agronomía se le conoce como semilla. Está formado por las siguientes partes:

- Pericarpio: Cubierta del fruto de origen materno, se conoce como testa, hollejo o cáscara.
- Aleurona: Capa de células del endospermo, de naturaleza proteínica.
- Endospermo: Tejido de reserva de la semilla, que alimenta al embrión durante la germinación. Es la parte de mayor volumen. Hay dos regiones bien diferenciales en el endospermo, el suave o harinoso y el duro o vítreo. La proporción depende de la variedad.
- Escutelo o cotiledón: Parte del embrión.
- Embrión o gérmen: Planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta, al germinar la semilla.
- Capa terminal: Parte que se une al olote, con una estructura esponjosa, adaptada para la rápida absorción de humedad. Entre esta capa y la base del gérmen se encuentra un tejido negro conocido como capa hilar, la cual funciona como un mecanismo sellante durante la maduración del grano. La formación de la capa negra indica grano maduro.

En la figura 4 se ilustra cada parte que forma el grano de maíz.

Figura 4. Estructura del grano de maíz



6. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL GRANO DE MAÍZ

Tabla 1. Composición química proximal de las partes de los granos de maíz (g/100g de muestra)

Componente químico	Pericarpio	Endospermo	Germen
Proteínas	3.7	8.0	18.4
Extracto etéreo	1.0	0.8	33.2
Fibra cruda	86.7	2.7	8.8
Cenizas	0.8	0.3	10.5
Almidón	7.3	87.6	8.3
Azúcar	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 1987.

Como se muestra en el tabla 1, las partes principales del grano de maíz difieren considerablemente en su composición química. La cubierta seminal o pericarpio se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente el 87 por ciento, la que a su vez está formada fundamentalmente por hemicelulosa (67 por ciento), celulosa (23 por ciento) y lignina (0.1 por ciento) (Burge y Duensing, 1989).

El endospermo, en cambio, contiene un nivel elevado de almidón (87 por ciento), aproximadamente 8 por ciento de proteínas y un contenido de grasas crudas relativamente bajo.

Por último, el germen se caracteriza por un elevado contenido de grasas crudas, el 33 por ciento por término medio, y contiene también un nivel relativamente elevado de proteínas (próximo al 20 por ciento) y minerales.

El aceite de germen suministra niveles relativamente elevados de ácidos grasos (Bressani *et al.* 1990; Wéber, 1987); cuando se dan ingestas elevadas de maíz, como sucede en determinadas poblaciones, quienes consumen el grano desgerminado obtendrán menos ácidos grasos que quienes comen el maíz entero elaborado. Esta diferencia tiene probablemente igual importancia en lo que se refiere a las proteínas, dado que el contenido de aminoácidos de las proteínas del germen difiere radicalmente de las proteínas del endospermo.

En la tabla 2 se muestra que el germen aporta pequeñas cantidades de lisina y triptofano, los dos aminoácidos indispensables limitantes en las proteínas del maíz. Las proteínas del endospermo tienen un bajo contenido de lisina y triptofano, al igual que las proteínas de todo el grano. La deficiencia de lisina, triptofano e isoleucina ha sido perfectamente demostrada mediante numerosos estudios con animales (Howe, Jason y Gilfillan, 1965) y un número reducido de estudios con seres humanos.

Tabla 2. Contenido de aminoácidos indispensables de las proteínas del germen y el endospermo del maíz

Aminoácido	Endospermo		Germen	
	mg/100g muestra	g/100g prot	mg/100g muestra	g/100g prot
Triptofano	48	0.603	144	0.992
Treonina	315	3.984	622	4.288
Isoleucina	365	4.624	578	3.984
Leucina	1 024	12.96	1 030	7.104
Lisina	228	2.880	791	5.456
Total azufrados	249	3.152	362	2.496
Fenilalanina	359	4.544	483	3.328
Tirosina	483	6.112	343	2.368
Valina	403	5.104	789	5.440

Fuente: Orr y Watt. 1957.

6.1 ALMIDÓN

El componente principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73 por ciento del peso del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3 por ciento del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. La amilosa es una molécula esencialmente lineal de unidades de glucosa, que constituye hasta el 25-30 por ciento del almidón. El polímero amilopectina también consiste de unidades de glucosa, pero en forma ramificada y constituye hasta el 70-75 por ciento del almidón. La composición del almidón viene determinada genéticamente. En el maíz común, ya sea con un endospermo de tipo dentado o córneo, el contenido de amilosa y amilopectina del almidón es tal como se ha descrito anteriormente, pero el gen que produce maíz ceroso contiene un almidón formado totalmente por amilopectina. Un mutante del endospermo, denominado diluyente de la amilosa (da), hace aumentar la proporción de amilosa del almidón hasta el 50 por ciento y más. Otros genes, solos o combinados, pueden modificar la composición del almidón al alterar la proporción entre la amilosa y la amilopectina (Boyer y Shannon, 1987).

6.2. FIBRA DIETÉTICA

Después de los hidratos de carbono (principalmente almidón), las proteínas y las grasas, la fibra dietética es el componente químico del maíz que se halla en cantidades mayores. Los hidratos de carbono complejos del grano de maíz se encuentran en el pericarpio y la piloriza, aunque también en las paredes celulares del endospermo y, en menor medida, en las del germen.

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros hidratos de carbono, además de almidón. El total de azúcares del grano varía entre el 1 y el 3 por ciento, y la sacarosa, el elemento más importante, se halla esencialmente en el germen. En los granos en vías de maduración hay niveles más elevados de monosacáridos, disacáridos y trisacáridos. 12 días después de la polinización, el contenido de azúcar es relativamente elevado, mientras que el de almidón es bajo. Conforme madura el grano, disminuyen los azúcares y aumenta el almidón.

6.3. MINERALES

La concentración de cenizas en el grano de maíz es aproximadamente del 1.3 por ciento, sólo ligeramente menor que el contenido de fibra cruda. Los factores ambientales influyen probablemente en dicho contenido. El germen es relativamente rico en minerales, con un valor medio del 11 por ciento, frente a menos del 1 por ciento en el endospermo. El germen proporciona cerca del 78 por ciento de todos los minerales del grano. El mineral que más abunda es el fósforo, en forma de fitato de potasio y magnesio, encontrándose en su totalidad en el embrión con valores de aproximadamente 0.90 por ciento en el maíz común y cerca del 0.92 por ciento en el maíz opaco-2. Como sucede con la mayoría de los granos de cereal, el maíz tiene un bajo contenido de calcio y de oligoelementos.

6.4. VITAMINAS LIPOSOLUBLES

El grano de maíz contiene dos vitaminas solubles en grasa, la provitamina A o carotenoide y la vitamina E. Los carotenoides se hallan sobre todo en el maíz amarillo, en cantidades que pueden ser reguladas genéticamente, en tanto que el maíz blanco tiene un escaso o nulo contenido de ellos. La mayoría de los carotenoides se encuentran en el endospermo duro del grano y únicamente pequeñas cantidades en el germen. Los carotenoides del maíz amarillo pueden destruirse durante el almacenamiento; lo mismo sucede con las xantofilas.

Según estudios recientes, si se mejora la calidad proteínica del maíz aumenta la transformación de beta-caroteno en vitamina A.

La otra vitamina liposoluble es la vitamina E, que es objeto de cierta regulación genética, se halla principalmente en el germen. La fuente de la vitamina E son cuatro tocoferoles; el más activo biológicamente es el alfa-tocoferol; aunque el gamma-tocoferol es probablemente más activo como antioxidante.

6.5. VITAMINAS HIDROSOLUBLES

Las vitaminas hidrosolubles son aquellas que se disuelven en agua. Se trata de coenzimas o precursores de coenzimas, necesarias para muchas reacciones químicas del metabolismo.

Se caracterizan porque se disuelven en agua, por lo que pueden pasarse al agua del lavado o de la cocción de los alimentos. Muchos alimentos ricos en este tipo de vitaminas no nos aportan al final de prepararlos la misma cantidad que contenían inicialmente. Tal es el caso

del maíz, el cual se consume molido y dividido en forma de harina como base de fabricación de productos alimenticios, o bien se lleva a cabo la cocción.

A diferencia de las vitaminas liposolubles no se almacenan en el organismo. Esto hace que deban aportarse regularmente y sólo puede prescindirse de ellas durante algunos días.

La vitamina B1 o tiamina es abundante en el pericarpio del maíz. Ingresada con los alimentos pasa al hígado, donde es transformada en pirofosfato de tiamina (TPP) (forma activa) por unión de dos moléculas de ácido fosfórico. Es un coenzima de las descarboxilasas (en la oxidación de los α -cetoácidos) y de las enzimas que transfieren grupos aldehído. Desempeñan un papel fundamental en el metabolismo oxidativo de los glúcidos y lípidos, es decir, en la producción de energía.

La vitamina B3 o niacina es sintetizada por los animales a partir del aminoácido triptofano. El déficit de esta vitamina provoca la pelagra. El maíz no tiene vitamina B12 y el grano maduro contiene sólo pequeñas cantidades, en caso de que las haya, otras vitaminas, como la colina, el ácido fólico y el ácido pantoténico, se encuentran en concentraciones pequeñísimas. (Patterson, 1980)

7. VALOR NUTRICIONAL DEL MAÍZ

La importancia de los cereales en la nutrición de millones de personas de todo el mundo es ampliamente reconocida. Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo. Los granos de maíz tienen una baja concentración de proteínas y la calidad de éstas se halla limitada por la deficiencia de algunos aminoácidos indispensables, sobre todo lisina y triptofano.

Numerosos investigadores han analizado las causas de la baja calidad de las proteínas del maíz, y entre los primeros estudios estuvieron los de Mitchell y Smuts (1932), quienes consiguieron mejoras notorias en el crecimiento humano al complementar dietas de proteínas de maíz al 8% con un 0.25% de lisina. Estos resultados han sido confirmados a lo largo del tiempo por otros autores, en tanto que otros han mostrado que al agregar lisina al maíz sólo mejora levemente la calidad de las proteínas. Esta diferencia de resultados se puede explicar por el distinto contenido de lisina de las diferentes variedades de maíz.

Según algunos investigadores es el triptofano, no la lisina, el principal aminoácido limitante de las proteínas del maíz. Todos los investigadores han coincidido, en cambio, en que la adición simultánea de lisina y triptofano mejora considerablemente la calidad de las proteínas del maíz, como se ha demostrado experimentalmente con animales. (FAO, 1993).

8. MÉTODOS DE MEJORAMIENTO GENÉTICO.

La *familia* de plantas se divide en *géneros*, los cuales a su vez se subdividen en *especies*, dentro de las cuales pueden haber numerosas variedades dentro de la misma especie. Esto se aclara tomando al maíz como ejemplo. El maíz es un miembro de la familia de las gramíneas. El nombre científico es *Zea mays*, representando la primera palabra al género y

la segunda a la especie, se divide en muchas variedades agronómicas que se distinguen entre sí por caracteres hereditarios como los mencionados antes.

Una variedad que sea sobresaliente para cualquier lugar tendrá una combinación de caracteres que le permiten producir altos rendimientos de calidad aceptable. Genéticamente, las diferencias en la identificación de características de variedades resultan de la diferencia en la dominancia o recesividad de genes específicos.

En las especies que se reproducen por autopolinización, en la que las plantas individuales tienden a ser homocigotes, el grado de pureza, dentro de la variedad dependerá de su origen y estabilidad genética. Algunas variedades de especies de autopolinización se multiplican a partir de un solo genotipo (*líneas puras*), en tanto que otras se multiplican a partir de una mezcla de genotipos (*selección masal*)

8.1. POLINIZACIÓN EN EL MAÍZ

Las flores estaminadas se producen en la espiga y las flores pistiladas en los elotes. La polinización se efectúa mediante la caída del polen sobre los estigmas. Aproximadamente el 95 por ciento de los óvulos de un elote sufren polinización cruzada y el otro 5 por ciento es autopolinización. La mayor parte del polen que poliniza a una mazorca de maíz proviene, generalmente de plantas inmediatamente cercanas, a un cuando el polen puede ser transportado por el viento a grandes distancias.

El tallo principalmente de la planta termina en una espiga que tiene espiguillas estaminadas de dos flores y cada flor con tres estambres. A medida que las flores de la espiga se abren, las anteras son forzadas hacia fuera por el alargamiento de los filamentos y los granos de polen se desprenden de las anteras así expuestas. El derramamiento de polen se inicia uno o tres días antes de que los estigmas hayan emergido en la misma planta y continúa durante varios días después de que dichos estigmas se encuentran en condiciones de ser polinizados.

Los elotes se originan como ramificaciones en los nudos, aproximadamente a la mitad del tallo. Cada elote se compone de un tronco del que nacen las espigas y en su extremo la mazorca misma donde se forman las flores pistiladas. Las espiguillas se forman en pares y como cada una de ellas solo producen un óvulo fértil, en cada mazorca existe un número par de hileras de granos.

Los filamentos o cabellos jóvenes del elote funcionan a la vez como estigmas y como estilos y son receptivos para el polen en toda su longitud.

Bajo condiciones favorables el polen puede retener su viabilidad durante 18 ó 24 horas.

El maíz que se propaga de semilla que se ha producido bajo condiciones de polinización no controlada se denomina comúnmente *maíz de polinización libre o abierta*. (Poehlmen, 2003)

8.1.1. Variedad de polinización libre.

Para el mejoramiento genético del maíz en México generalmente se ha partido de colectas obtenidas directamente con los productores, las cuales son evaluadas para detectar aquellas estirpes sobresalientes. Las colectas de material con características agronómicas y de rendimientos superiores han sido la base para la formación de híbridos y variedades de polinización libre de alto rendimiento. Las variedades de polinización libre son poblaciones, sin progenitores inmediatos definidos, donde se manifiestan los efectos genéticos de actividad, dominancia y epistasis; sin que se optimicen el uso de un efecto en particular, una variedad criolla sería el caso más típico de este tipo de variedades (Mendoza, 1982).

Millones de hectáreas en el mundo en desarrollo son sembradas anualmente con variedades de polinización libre, porque aún reúnen las características apropiadas a esas vastas regiones donde las prácticas agrícolas tradicionales son todavía una regla. Las variedades mejoradas de polinización libre deben reunir atributos sobresalientes y las características deseadas por los agricultores que les permitan ajustarse a esas regiones del mundo: (Ortega y Vasal, 1999)

1.-El mantenimiento y producción de semilla de una variedad mejorada de polinización libre es relativamente sencillo al estar involucrado solo un componente. Las metas de producción de semillas pueden ser alcanzadas en forma fácil y rápida con variedades de polinización libre.

2.-Variedades nuevas y mejoradas, extraídas de un programa en marcha de mejoramiento de una población, pueden remplazar en cualquier momento a las que estén usando, ya sea como nuevas variedades o como variedades mejoradas de las existentes. De manera similar, el cambio de una variedad por otra puede lograrse con rapidez; por ejemplo cuando una variedad es susceptible a una nueva enfermedad necesita ser remplazada por una resistente.

3.-Los costos de producción de semilla son relativamente bajos y la cantidad de semilla de variedad de semilla de polinización libre puede ser aumentada rápidamente, ya que la producción de grano lleva solamente dos categorías (Básica y Certificada) distantes de la semilla original.

4.-La variedad de polinización libre tiene una clara ventaja donde la distribución de semillas es difícil y costosa. La semilla de estas variedades pueden pasar de un agricultor a otro siendo guardadas por el agricultor de año en año; observándose un efecto multiplicativo sobre el área a cubrir.

5.-El intercambio de germoplasmas entre programas nacionales es más fácil con variedades de polinización libre que con materiales de maíz de progenie cerrado, lo que involucre derechos de propiedad.

En la formación de variedades se mejora criollos o variedades con cierto grado de variabilidad, con el fin de obtener genotipos con amplia adaptabilidad y mayor rendimiento que los materiales criollos, a partir de algunos de los esquemas o metodologías de

mejoramiento (por ejemplo selección masal y selección familiar), las cuales usan como punto de partida a criollos o bien, a varias variedades con ciertas características mas o menos uniforme. Manejándose a las poblaciones a mejorar, normalmente en lotes aislados y dependiendo de la mitología utilizada, se puede o no controlar a los padres (Ortega y Vasal, 1999; Celis, 1982)

Este mejoramiento es particularmente valioso para las condiciones ecológicas y naturales que prevalecen en México, donde se tiene un gran numero de agroecosistemas y por lo tanto, gran fuente de variabilidad genética (Ortega y Vasal, 1999). Debido a lo anterior, el programa de maíz de Valles Altos reenfocó su investigación en 1972 para dedicar sus esfuerzos hacia la obtención de variedades de polinización libre mediante selección masal, principalmente. (Celis, 1982).

Este mejoramiento, a su vez, es la base de una secuencia lógica dentro de los programas de mejoramiento genético, pues sirve como punto de partida para la derivación de líneas endogámicas y la subsecuente formación de variedades sintéticas y de híbridos posteriormente (Llanos, 1984).

Selección masal

Se parte de un compuesto de criollos o de una variedad que se siembra en un lote aislado. Se controla el efecto del medio ambiente con la estratificación por sublotes y se seleccionan las plantas con competencia completa en el campo. El numero de plantas a seleccionar en cada lote denominado presión de selección, se predetermina y de esta forma se obtienen incrementos por ciclo del orden del 2 al 5 %. Existen diversas modalidades, siendo la más común y de fácil aplicación el método *in situ* que toma en cuenta una sola localidad, pero tiene la desventaja de que las variedades mejoradas tienen una reducida adaptabilidad. Otras modificaciones son la Selección Masal Convergente-Divergente y la Rotativa, las cuales tienen la ventaja de producir materiales con amplia adaptabilidad (Celis, 1982; Llanos, 1984).

Selección Familiar.

Existen muchas modalidades y en casi todos los casos se tienen dos tipos de selección: entre familias y dentro de familias, las cuales pueden ser de medios hermanos o bien de hermanos completos tomando en cuenta que cada familia es una mazorca. Sus ganancias por ciclo oscilan en un 5 a 10 por ciento. Se necesita un lote aislado y normalmente se efectúan desespigamientos para controlar alguno o ambos padres (Celis, 1982).

Esta metodología normalmente considera varias localidades, teniendo en lotes de agricultores, la selección entre familias para ganar adaptabilidad y en el campo experimental el lote de selección dentro de familias, donde se selecciona hacia rendimiento y se tiene el control de alguno de los padres mediante desespigamiento o bien controlando a los dos padres mediante cruzamiento fraternal. Por lo anterior estas metodologías son eficientes para tener variedades con amplia adaptabilidad y buen rendimiento en menos tiempo que la selección masal, solamente que requieren de más presupuesto y de personal calificado (Celis, 1982; Ortega y Vasal, 1999)

De acuerdo con los métodos de mejoramiento genético se pueden identificar dos tipos de variedades comerciales de polinización libre; las variedades sintéticas, y las denominadas simplemente variedades. La producción de semillas en sus categorías de: original, básica, registrada y certificada, es similar y los volúmenes de las mismas dependerá mas bien de los recursos y necesidades del programa que las reproduzca e incremente cuyo objetivo central será mantener su identidad genética (Celis, 1982).

8.2. VARIEDAD.

El termino “variedad” ha sido definido como la subdivisión de una especie, que incluye a un grupo o fracción de individuos superiores con características similares, de una población, en continuo proceso de mejoramiento; que son diferentes, uniformes y estables. Una variedad es diferente o distinta porque se distingue técnica y claramente uno o varios caracteres pertinentes de cualquier otra variedad, es decir posee rasgos agronómicos importantes y es estable en términos de la expresión de muchos de estos rasgos a través del tiempo. La variedad no debe exhibir variación más allá de las normas establecidas. Una variedad constituida por la recombinación de ocho a diez familias selectas de una población estructurada en estas mismas, puede ser suficientemente uniforme en su apariencia, siempre y cuando se ponga cuidado en seleccionar razas que sean similares en maduración, altura de la planta, altura de la mazorca y otras características. La uniformidad fenotípica de la variedad implica tanto operaciones menos rigurosas de eliminación de la planta en fases subsiguientes de la multiplicación de semillas, como una mejor aceptación por parte de los agricultores. Dicha uniformidad es necesaria según Sneep y Hendriksen, (1979) citado por Virgen *et al* (1992) para la identificación de la variedad en el campo de producción de semillas, en el que se debe procurar atención al mantenimiento de o la estabilidad genética, de la pureza varietal y para los propósitos comerciales sean de utilidad para la protección varietal.

En resumen “variedad” significa un ensamblaje de fenotipos relativamente uniformes que representan la fracción superior de una población en un ciclo dado de mejoramiento y selección. La selección de familias superiores para construir una variedad es necesaria aún en poblaciones que han sido sujetas a varios ciclos de mejoramiento (Ortega y Vasal, 1999).

El nombre común de una variedad es por su lugar de origen, denominadas variedades autodescriptivas. Las variedades nativas, son aquellas que se originan en un lugar determinado y ahí evolucionaron; las variedades criollas son las introducidas y adaptadas a las condiciones existentes en el lugar de adopción que multiplicándose libremente y por selección natural o dirigida han logrado producciones aceptables para los agricultores (Reyes, 1990)

9. ENDOGAMIA Y HETEROSIS

Los grandes logros de mejoramientos de plantas han tenido como base la explotación comercial de dos hechos biológicos: la endogamia y la heterosis. (Reyes, 1990)

9.1. ENDOGAMIA:

El término indica una forma de apareamiento o cruzamiento entre individuos emparentados. En las plantas monoicas compatibles, la endogamia es máxima cuando ocurre la autofecundación, pero se puede presentar diferentes grados de endogamia en atención al parentesco entre el conjunto de progenitores en una población de plantas o al número de ellas. En las plantas autógamas la endogamia es la forma natural de realizarse. En las alejamas, como es el maíz, se efectúa la endogamia por medio de la autofecundación mediante polinizaciones controladas; dicho proceso conduce a la obtención de líneas cada vez menos vigorosas, las cuales pueden ser aparentemente homocigóticas en un periodo de cinco a siete generaciones. Aproximadamente, la mitad de la reducción total del vigor se registran en las primeras generaciones autofecundadas, el resto se registra por mitad en cada generación sucesiva, después de la cuarta autofecundación se consigue una homocigosis mayor de 80 por ciento (Espinosa, 1982; Garduño, 2000; Reyes, 1990)

Además de pérdida de vigor, las plantas individuales de las primeras generaciones muestran muchos más efectos como: reducción en altura, tendencia a producir chupones, acame, susceptibilidad a enfermedades, plantas deformes, albinas y debilitamiento general de la población, las plantas defectuosas se desechan y solamente se autofecundan en cada generación las plantas agronómicas sobresalientes. Sin embargo, puede ocurrir cierto grado de endogamia naturalmente si por varias generaciones se cultivan pequeñas poblaciones de plantas y se practica selección (100 plantas o menos por generación) en lugares aislados de otras plantaciones de maíz. (Espinosa, 1982)

En contraste Reyes (1990) consigue que el cruzamiento restaure el vigor y la progenie manifiesta la mayoría de los caracteres con mayor intensidad; también menciona que la endogamia trae consigo dos hechos de importancia:

1. Disminución de vigor y rendimiento
2. Aparición de individuos notables por su uniformidad o por anomalías que originan problemas de supervivencia.

Espinosa, (1982) y Reyes, (1990) coinciden en que una línea pura es un individuo obtenido por autofecundación sucesiva. El propósito de las autofecundaciones es fijar caracteres convenientes en una condición homocigótica, con objeto de que las líneas se puedan conservar sin que sufran cambios genéticos y además aprovechar sus características en

combinación con otras mediante la heterosis. Por lo tanto la utilidad de la endogamia en la mejora de las plantas, es de la siguiente forma:

- Producción de plantas uniformes y genéticamente homocigotos.
- Purificar una variedad con fallas y anormalidades, sea por selección natural o por selección que hace el mejoramiento en el proceso de endogamia eliminando a los homocigotos no deseables.
- La disminución del vigor puede restaurarse por el cruzamiento entre líneas puras seleccionadas.
- Los híbridos resultantes entre líneas autofecundadas, suele ser muy uniformes y de mayor vigor que la variedad progenitora de las líneas debido al fenómeno llamado heterosis, el cual puede explorarse en la primera generación o perpetuarse por vía asexual

9.1.1. Métodos de mejoramiento con endogamia (Reyes, 1990):

- Heterocigoto y Heterogénea. Variedades criollas de plantas alógamas, como esta en la naturaleza. Variedades mejoradas, a variedades sintéticas.
- Homocigoto y Heterogénea. Variedad criollas en autógamias, mezcla de líneas puras, compuestas multilíneal.
- Heterocigoto y Homogénea. Híbridos simples formados con líneas puras.
- Homocigoto y Homogénea. Línea pura.

9.2. HETEROSIS

La heterosis (también llamado **vigor híbrido**) es el fenómeno que ocurre cuando se cruzan dos o más líneas, obteniéndose plantas con mayor vigor que sus progenitores, éste será más alto cuando los individuos que lo provocan sean de constitución genética diferente, habitualmente diferenciados genotípica y fenotípicamente entre sí. A mayor diversidad genética, mayor es el grado de heterosis. (Espinosa, 1982)

La heterosis se manifiesta produciendo un estímulo general en la progenie o en el híbrido y afecta a las variedades de diferentes maneras: (Reyes, 1990)

- Mayor rendimiento de grano, forraje o fruto.
- Madurez temprana.
- Mayor resistencia a plagas y enfermedades.
- Plantas más altas.
- Aumento en el tamaño o número de ciertas partes u órganos de la planta.
- Incremento de algunas características internas de la planta.

Espinosa (1982) cita que la palabra heterosis es una concentración de la palabra heterocigosis. La heterosis se ha empleado para incrementar la capacidad de rendimiento.

En maíz se utiliza este fenómeno cuando se explota con la primera generación, el cual se obtiene al cruzar dos o más líneas. Existe diversas hipótesis sobre el fenómeno de la heterosis, sin embargo, generalmente se presentan dos explicaciones para entenderlo, aún cuando ambas no lleguen a cubrir en forma adecuada todos los casos.

1.- Dominancia: La teoría de dominancia es la más aceptada explicación del fenómeno de heterosis. Dos parentales portadores de diferentes hálelos dominantes, al ser cruzados producen una F1 más vigorosa que cada parental individualmente. El vigor híbrido resulta de la acción combinada de factores favorables dominantes y parcialmente dominantes, supone que en general los factores dominantes aportados por cada progenitor del híbrido son deseables y por lo tanto los factores recesivos son nocivos, un híbrido es más vigoroso que sus progenitores porque tiene más factores dominantes que recesivos. (Espinosa, 1982)

2.- Sobre dominancia: Se basa en la explicación del fenómeno por la heterocigocidad, es decir, entre mayor sea el número de genes por el cual una planta es heterocigótica, es mayor su heterosis. (Espinosa, 1982)

10. PUREZA GENÉTICA DEL MAÍZ.

Douglas (1982) citado por Virgen *et al* (1992) establece que es importante distinguir entre el mejoramiento genético de una variedad y su mantenimiento varietal; el primero es una actividad, y el segundo implica la conservación de la pureza genética de la variedad, tal y como ha sido descrita por el fitomejoramiento; lo que puede implicar un sistema de selección individual de plantas en función de algún carácter de interés para la producción de semillas; además de un ensayo de autenticidad de tipo en las plantas seleccionadas.

Por lo cual, para que un híbrido logre una amplia distribución o aceptación por parte de los agricultores, debe reunir características agronómicas deseables, superiores a las existentes, como resistencia a ciertas enfermedades, producción, calidad culinaria, resistencia al acame entre otras características (periodo vegetativo, tamaño de planta, erección, hoja bandera, macollamientos) (Faeth, 1998) y debe ser fácil de multiplicar para conservar la calidad, genética y física de la semilla (Virgen *et al*, 1992). Dichas características, son controladas por el genotipo de la planta y las generaciones subsiguientes les mostrarán de manera idéntico siempre y cuando la población permanezca genéticamente inalterada, porque cuando se desarrolla una variedad y se somete por años a la multiplicación de semillas, en cada incremento que se hace existe riesgo de que se pierda la identidad varietal, lo cual propicia que ya no posean las características con la que fue obtenida (Tadeo y Espinosa, 2004).

De manera que la contaminación genética o física implica la pérdida de la condición genética y por lo tanto de la calidad de un cultivar superior o mejorado. En tal situación es de esperarse mayor susceptibilidad a enfermedades y al acame, así como bajos rendimientos (Faeth, 1998).

Por lo tanto la modificación de una variedad puede deberse a varios factores de deterioro, dentro de los cuales se puede mencionar, según Tadeo y Espinosa (2004):

- Origen de la semilla.- Este se refiere al control y seguimiento que se da a cada lote, lo que incluye localidad y ciclo donde se produjo, y dependiendo de esto cada origen puede tener cierto nivel de pureza genética lo cual incluye todos los elementos que pueden desviar la identidad varietal.
- Contaminaciones mecánicas: Las contaminaciones en la sembradora, en la cosechadora, así como en otros pasos del proceso de multiplicación de semilla, propicia riesgos en la identidad varietal. Es suficiente un error en el manejo de progenitores, un cambio o equivocación en la movilización de estos mismos para dañar la calidad genética.
- Contaminación durante la polinización: Las contaminaciones en la polinización ocurre por diferencias en el desespigue, propiciándose autofecundaciones en las plantas hembras, lo cual resulta en semillas que no corresponden a la identidad varietal que se trate de obtener. Otros aspectos de la polinización se presenta cuando el lote de multiplicación es contaminado por polen extraño debido a deficiencia en el aislamiento durante el incremento de semillas originales, la cual se realiza con iniciación manual, presentándose contaminaciones por escaso cuidado al obtenerse polen de las plantas y en la realización de las polinizaciones en cada una de las anteriores. El incremento de líneas endogámicas por autofecundación facilita el mantenimiento de la pureza varietal.
- Estabilidad genética: En ocasiones las variedades son liberadas y puesta en uso comercial sin estar completamente terminado por su proceso de mejoramiento genético, por lo cual la variedad continúa en proceso de cambio; lógicamente al incrementarse semillas después de varios ciclos para llegar a semilla certificada, la variedad presenta modificaciones.
- Efectos de selección: Cada variedad debe incrementarse utilizando un tamaño de muestra representativo que permita multiplicar en forma fiel la identidad varietal sin riesgo de que la variedad presente sesgos. En ocasiones no se incrementa esta última en el número de plantas necesarias y se aplica selección en las plantas que se multiplican, cabe esperar que al realizar este procedimiento la semilla obtenida sea incluso mejor y presente ventajas contra la variedad original, sin embargo esa variedad al ser diferente a la inicial ya no corresponde a la variedad que se pretende incrementar.

11. MAÍZ HÍBRIDO

La hibridación, como método genotécnico en plantas, se basan en el aprovechamiento de la primera generación (F_1) proviene del cruzamiento entre dos progenitores de diferente constitución genética. Los progenitores pueden ser dos poblaciones de polinización libre, dos variedades mejoradas, dos líneas puras.

Las líneas puras se pueden obtener de diferentes maneras, siendo la más común, por autofecundación artificial, también se pueden desarrollar líneas puras por medio de cruzamiento entre hermanos completos (cruzamientos fraternales)

Las líneas consisten de un grupo de plantas genotípicamente iguales y homocigóticas. Estos cultivares son mantenidos por autofecundación o por cruzamiento entre hermanos. Las líneas son usadas como progenitores de híbridos y de variedades sintéticas. (Poehlman, 2003).

Cada vez es más latente la necesidad que existe entre productores y comercializadores la necesidad 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.

El maíz híbrido es superior a las variedades de polinización libre debido a que produce granos y forraje de mejor calidad, presenta rendimientos significativamente más elevados, tiene mayor resistencia a enfermedades e insectos, es mas resistente al acame y a la sequía (Delorit, 1982).

El aumento de la producción de maíz se hizo posible principalmente gracias a la introducción de semillas híbridas de alta productividad, su obtención se basa en aprovechar el fenómeno de heterosis que se produce al cruzar dos líneas puras homocigóticas (Delorit, 1982; Llanos, 1982).

Cuando tales líneas se cruzan, la semilla resultante produce plantas híbridas muy vigorosas. Las variedades que se quieren cruzar deben sembrarse en hileras alternas, retirando las inflorescencias masculinas de una de ellas a mano, de manera que todas las semillas que se produzcan a partir de dichas plantas serán híbridas. Mediante una selección cuidadosa de las mejores líneas cruzadas, se pueden producir los híbridos de maíz mas vigorosos y apropiados para el cultivo en una zona determinada, las cuales tendrán mayor producción de grano y mayor uniformidad en floración, altura de planta y maduración permitiendo la aplicación de una mejor tecnología pues son fáciles de cosechar y da lugar a producciones más altas que los individuos no híbridos (Llanos, 1982; Reyes, 1990).

Los híbridos no transmiten su mayor vigor a la descendencia, por lo que es preciso cruzar todos los años las formas parentales para obtener una nueva cosecha de semillas híbridas.

De esto se encarga la empresa semillero y algunos agricultores e investigadores especializados en el cultivo de semillas híbridas. La hibridación aumenta el costo de la semilla, pero el mayor rendimiento compensa de sobra el gasto. Se han atribuido al maíz híbrido aumentos de rendimiento comprendidos entre el 25 y 50 % (Llanos, 1982).

Los tipos de híbridos según la forma en que son obtenidos se enumeran en el siguiente esquema:

- ✓ Línea pura x Línea pura = Híbrido simple
- ✓ Híbrido simple x Híbrido simple = Híbrido doble
- ✓ Híbrido simple x Línea pura = Híbrido tres líneas
- ✓ Híbrido simple x Variedad de polinización libre = Híbrido tres líneas o Top-cross
- ✓ Línea pura x Variedad de polinización libre = Top-cross

La diferencia que existe con los maíces transgénicos es que estos NO fueron elaborados por técnicas de mejoramiento genético convencional sino por una tecnología cara, imprecisa y especializada llamada biotecnología, que agrega genes de otras plantas, animales o bacteria al maíz en el laboratorio, saltando las barreras entre especies para crear organismos que no existían en la naturaleza. En la figura 5 se muestra un laboratorio donde se lleva a cabo las técnicas de elaboración de maíz transgénico.

Figura 5. Técnica de elaboración de maíz transgénico



A simple vista no se puede saber si un maíz ha sido modificado genéticamente.

El conocimiento científico sobre el funcionamiento de esta tecnología es todavía muy limitado y las técnicas actuales no permiten controlar los efectos de la inserción de genes extraños en el maíz.

Existen muchos experimentos para modificar el maíz pero las semillas de maíces transgénicos que se cultivan comercialmente son de tres tipos:

- Maíz Bt: tienen el gen de bacteria Bt (*Bacillus thuringiensis*) que hace que la planta produzca la toxina Bt, que funciona como insecticida.
- Maíz tolerante a herbicidas: no mueren al ser tratadas con el herbicida Round Up Ready de Monsanto.
- Maíz que tiene ambas modificaciones genéticas.

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 INIFAP 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.

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 el mercado mexicano hay disponibles semillas híbridas que no tienen patentes y que también garantizan altos rendimientos.

Este centro dispone de mecanismos que le permiten garantizar la calidad, tanto de la semilla como de sus características genéticas, por lo que la semilla producida es almacenada bajo condiciones controladas y distribuida en áreas estratégicas del país.

La multiplicación en campo se realiza en base a la normatividad establecida por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).

La semilla que se utiliza para la producción de las diferentes categorías es genéticamente pura. Se mantiene un control en los lotes de producción en sus diferentes etapas de desarrollo. Se trabaja en forma conjunta con personal del SNICS. Se efectúa un adecuado manejo postcosecha. Se practican análisis de calidad a la semilla antes de su almacenamiento. Cada seis meses se efectúan las pruebas de germinación y vigor. (INIFAP, 2007)

En la tabla 3 se presenta la información de los híbridos de cultivos de maíces con mejor respuesta de adaptación a cada región (INIFAP, 2007).

Tabla 3. Regiones donde se tienen híbridos de maíz.

REGIÓN	ESTADOS	HÍBRIDOS DE MAÍCES
<u>Centro</u>	Guanajuato, Tlaxcala, Querétaro, Puebla, Hidalgo, Estado de México, Distrito Federal y Morelos	H-316, H-317, H-374 C, H-441 C H-368 C
<u>Golfo Centro</u>	Veracruz y Tabasco	VS-536 V-537 C V-556 AC H-520 H-519 C H-553 C
<u>Noreste</u>	Tamaulipas, Nuevo León, Coahuila y San Luis Potosí	H-437 H-439 VS-440 H-435 H-436
<u>Noroeste</u>	Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa	H-431 H-438 H-428
<u>Norte Centro</u>	Chihuahua, Durango, Aguascalientes y Zacatecas	H-220 H-135 H-515 CAFIME VS-201 VS-204 H-358 H-358 H-143-C H-358 H-319 H-145 C H-359 H-321 H-149 C HV-313 H-375 H-519 C H-311 V-450 H-553 C H-515 H-367 H-357 H-516
<u>Pacífico Centro</u>	Jalisco, Colima, Nayarit, Michoacán	H-357 H-358 H-359 H-311 VS-535 VS-536 H-515 H-516 H-562 V-559 C VS-558 V-537 H-512 V-233
<u>Pacífico Sur</u>	Guerrero, Oaxaca y Chiapas	H-515 H-512 V-537 C H-519 C V-539
<u>Sureste</u>	Campeche, Yucatán y Quintana Roo	

11.1. CACTERÍSTICAS SOBRESALIENTES DE LOS MAÍCES ESTUDIADOS

H 553 C Híbrido trilineal de maíz con alta calidad proteínica, con adaptación al Trópico mexicano con altitud del nivel del mar a 1,600 metros.

H-519 C es un híbrido de maíz con calidad proteínica que se adapta a la milpa tradicional en suelos rojos. La planta es vigorosa de color verde intenso. El rendimiento esperado bajo temporal en este sistema de producción, es de 3.5 toneladas por hectárea.

Representa una opción para mejorar la nutrición de amplios sectores de la población debido a que su proteína posee mayor cantidad disponible de los aminoácidos esenciales lisina y triptofano, necesario para el mantenimiento, crecimiento y desarrollo humano. (Aguilar y Torres, 2006)

En la tabla 4 se muestran algunos ejemplos de maíces híbridos estudiados con sus características sobresalientes, así como su calidad industrial.

Tabla 4. Características sobresalientes de algunos híbridos de maíces (CEVAMEX, 2005)

Variedad	Características Sobresalientes	Calidad industrial	Área de adaptación
H-58-E	Excelente tolerancia al acame y buena uniformidad	Adecuado para industria de la masa y tortilla. Harinas nixtamalizadas	Siembras de temporal y humedad residual
H-159-E	Tolerancia al acame y buena uniformidad	Adecuado para industria de la masa y tortilla.	Siembra de punta de riego y humedad residual
H-161-E	Tolerancia al acame y buena uniformidad	Adecuado para industria de la masa y tortilla.	Siembra de punta de riego y humedad residual
HS-2	Problemas de acame, tolerancia a carbón parcial	Adecuado para industria de la masa y tortilla.	Siembra de punta de riego y humedad residual (Valles altos)
H-151-E	Tolerancia al acame y buena uniformidad, buen desarrollo en suelos delgados	Adecuado para industria de la masa y tortilla.	Siembra de punta de riego y humedad residual (Valles altos)
H-155-E	Tolerancia al acame y buena uniformidad	Adecuado para industria de la masa y tortilla.	Siembra de riego y humedad residual en zonas de transición

11.2. MAÍZ DE ALTO CONTENIDO PROTEÍNICÓ.

Como se dijo anteriormente, el maíz en la dieta mexicana tiene un papel fundamental, y en muchas comunidades del país es junto con el frijol el alimento de cada día.

En forma paralela, un estudio del Instituto Nacional de la Nutrición Salvador Zuviran, señala que 18.4 millones de mexicanos sufren desnutrición en grado severo y otros 12.8 millones de moderada.

Al comer maíz y frijol en una proporción adecuada, se cubren los requerimientos diarios de proteína, pues ambos alimentos se complementan. Hoy en día el frijol es un producto caro para comunidades campesinas y habitantes urbanos de escasos recursos, que con el sólo consumo del maíz no alcanzan a proveerse la totalidad de proteínas requeridas por su organismo.

Actualmente en las comunidades campesinas y sectores marginados la dieta se basa en una relación de consumo de un kilo de frijol por cada dieciséis de maíz, cuando a principios de los ochenta la relación era de uno por diez, respectivamente, indican los investigadores del INIFAP, los doctores Antonio Turrent Fernández, Líder nacional del maíz y Alejandro Espinosa Calderón, Líder nacional de semillas.

Ante ello, investigadores del INIFAP en combinación con el CIMMYT, desarrollaron científicamente 26 variedades conocidas como Quality Protein Maize (QPM), (20 híbridos y 6 variedades), que llevan la denominación de alta calidad proteínica y superan por mucho a las normales, sin alterar su sabor y textura. Los doctores Turrent y Espinosa explican que las nuevas variedades logradas son aptas para diversas regiones del país, y serán los niños, mujeres embarazadas y lactantes, los más beneficiados. La proteína de maíz normal contiene 1.6% de lisina y 0.47% de triptófano, mientras que los maíces de calidad proteínica (QPM), contienen en promedio 3.1% de lisina y 1.0% de triptofano. Estos maíces han presentado rendimientos iguales o superiores a sus homólogos comerciales.

Aparte de ser un excelente producto para el consumo humano, en el ámbito forrajero aumenta considerablemente los nutrientes en alimentos balanceados, dando como resultado inigualables rendimientos e importantes ahorros en la producción de carne, huevo y leche. Este maíz posee el doble de aminoácidos esenciales, lisina y triptofano, que son los responsables del desarrollo y crecimiento de humanos y animales, así como un contenido superior de 20 a 30% de la calidad de la proteína.

Estas nuevas 26 variedades QPM tienen su origen en 1963 cuando dos investigadores de la Universidad de Purdue (Estados Unidos) buscaron en miles de tipos de variedades conocidas, una con más calidad de proteína. Así, dieron con un tipo de maíz peruano que sufrió una mutación natural en uno de sus genes y al que se denominó opaco 2.

En 1965 el opaco 2 fue distribuido en el mundo para que los países hicieran sus propios mejoramientos genéticos e incorporaran la calidad proteínica, México entre ellos, pero los resultados de producción fueron 20 por ciento inferiores al promedio de los maíces normales además de ser susceptibles al ataque de plagas, lo que encarecía su producción y precio. Por ello en 1975 se abandonó su uso.

Sin embargo, investigadores miembros del CIMMYT, organismo mundial cuya sede principal se encuentra en Texcoco, estado de México continuaron mejorando esa semilla, y en 1990 obtuvieron un maíz de alta calidad proteínica con rendimientos iguales al común. En 1994 fueron liberadas sesenta líneas de este maíz al mundo, con las cuales se han obtenido un número elevado de híbridos y variedades mejoradas. De esa fecha a 1998 el INIFAP y el CIMMYT evaluaron los híbridos en México lo cual resultó en los 26 nuevos maíces obtenidos.

En el organismo los aminoácidos contribuyen a crear proteínas, que el cuerpo usa para regenerar sus células y son indispensables para el crecimiento infantil. Aparte de evaluar las distintas variedades, ambos centros de investigación empezaron un programa intensivo para obtener nuevas cruza y así cubrir las regiones maiceras de México con el QPM. De esta manera utilizan el método de hibridación, en el que a las plantas de maíz de buena calidad se les aplica un proceso llamado auto fecundación, que consiste en unir el polen (órgano masculino) de la planta con su propio jilote (órgano femenino); las semillas obtenidas se siembran y se selecciona nuevamente a las mejores plantas, este proceso se repite por varias generaciones (hasta siete), y la línea resultante se cruza con otra que aporta el polen, y así se obtiene un híbrido de calidad proteínica para una cierta región.

También se cuentan con variedades denominadas de polinización libre, en las cuales el propio agricultor puede obtener semilla de su parcela y, con sólo seguir ciertos cuidados manteniendo la calidad proteínica y el rendimiento de las variedades.

Con el método de hibridación se obtiene semillas para condiciones de terreno fértil y con buen riego, en tanto que las variedades de polinización libre están destinadas para zonas de temporal, con escasa agua o condiciones difíciles de siembra. De momento los nuevos tipos QPM sólo se pueden cultivar en terrenos por debajo de los 2000 mil metros de altitud, que representan casi la mitad de los 7 millones de hectáreas en el país.

Actualmente hay sembradas 70 mil hectáreas con estos maíces, en comunidades con altos niveles de desnutrición de Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Michoacán y otros estados; se tiene semilla disponible para cultivar 80 mil hectáreas del próximo ciclo, al igual que un programa cuyo fin es obtener en el 2003 variedades que cubran a todo el país. (Turrent y Espinosa, 2000)

12. MEJORAS EN LAS CARACTERÍSTICAS AGRONÓMICAS DEL MAÍZ

Existen varios factores limitantes en la producción y en la productividad en el cultivo de maíz, entre los cuales se citan los siguientes (Reyes, 1990):

1. Arquetipo de planta deficiente que dificulta una tecnología integral (siembra a cosecha): plantas muy altas y variables, con una relación rastrojo-grano igual o mayor a dos, susceptibles al acame eficiencia en la posición de sus hojas e inserción de mazorca, floración masculina muy variable e inflorescencia muy ramificada y demasiado vigorosa, maduración muy variable y relativamente tardía, fisiológicamente deficiente en el aprovechamiento del suelo, agua, atmósfera y luz.
2. Sanidad de planta: plagas de campo desde siembra hasta cosecha y almacén, así como enfermedades.

3. Clima y sus factores: temperatura y sus variaciones durante el día y el año (helada, granizadas y/o calor excesivo), humedad del suelo y de la atmósfera (sequías e inundaciones), huracanes o desecantes, acción conjunta de temperatura, humedad y aire, días nublados y/o luminosos, altitud y latitud.
4. Suelos: textura, estructura y composición química, fertilidad nula, escasa y/o productiva y suelo plano o serranía.
5. Tecnología (muy variable), agricultura de subsistencia, agricultura comercial, alta tecnología con alto insumo e inversión de capital e infraestructura necesaria para el almacenamiento, conservación y transporte.

Pero también nuevos procedimientos de aprovechamiento de los productos del maíz, han ido reorientando la investigación en el campo de la mejor genética para obtener nuevas variedades. Por todo esto, las metas que se pueden considerar prioritarias actualmente en las mejoras del maíz, podemos enumerar las siguientes (Llanos, 1984):

1. Mejor utilización de los principios nutritivos, especialmente del nitrógeno por la planta.
2. Variedades más precoces para su introducción en zonas marginales por lo reducido del periodo libre de heladas.
3. Variedades resistentes al acame y de mayor eficiencia fotosintética.
4. Resistencia a plagas y enfermedades.
5. Tolerancia a los insecticidas.

También se han realizado híbridos con mayor cantidad y calidad en cuanto al valor nutricional, para la obtención de un grano con mejor calidad nutricional.

12.1. PRECOCIDAD DEL MAÍZ

El ciclo se mide por el número de días que transcurre desde que nace la planta hasta que alcanza su madurez fisiológica, lo que es lo mismo, hasta que el grano contiene como medida el máximo de materia seca acumulable. Es entonces cuando tiene una humedad proximal del 35 al 40%. A partir de ese momento no hay más acúmulo de materia en el grano, aunque sí lo puede haber en los tallos. Después el grano pierde peso, al irse secando hasta que, llegado el porcentaje de humedad del 14 al 16% conviene cosecharlo, conociéndose a este estado del grano como madurez agronómica (Llanos, 1984; Malaver, 1998)

La madurez fisiológica y la madurez agronómica depende de la variedad, aunque la primera está más influida que la segunda por el carácter heredado y esta última lo está en mayor grado por las condiciones del medio ambiente y por las técnicas de cultivo empleadas. El ciclo depende, por lo tanto, de la variedad y está modificado por las condiciones

ambientales (iluminación, temperatura, humedad) y por las técnicas del cultivo (abonado, riego, preparación del terreno entre otras); por ello el concepto de ciclo de una variedad es un valor relativo que puede cambiar de unos lugares a otros y de un mismo lugar, según las condiciones climáticas de cada año y las labores culturales que se emplean (Llanos, 1984).

La mejora de la precocidad de las variedades de maíz ha sido un antiguo objeto perseguido en los planes de mejora genética. Su importancia actual se pone de manifiesto considerando la necesidad de establecer variedades que alcancen regularmente la madurez fisiológica, o se acerquen a ella, antes de las heladas, asimismo, antes de la cosecha se seque lo suficiente como para poder almacenarlos sin riesgo o presente el contenido de humedad adecuado para ser sometidos a la secadora (Aldrich, 1974).

Se puede definir como precocidad, el tiempo mínimo requerido para que una planta pueda alcanzar su madurez fisiológica, desde el punto de vista de aprovechamiento, ya sea por sus frutos, flores, raíces, tallos, látex, fibra, entre otros. (Llanos, 1984). En el maíz son apreciables las floraciones y las llamadas madurez lechosa-masosa, siendo útiles para apreciar en forma comparativa, la precocidad de una o un grupo de plantas a otras. La precocidad está determinada tanto por características hereditarias de la planta, como por el medio ambiente (su respuesta al fotoperíodo, a la temperatura, a la altitud, al tipo de suelo y a la distribución de humedad, durante el ciclo de crecimiento) (Llanos, 1984; González, 1995).

Por lo tanto en este cultivo, la fecha en que aparecen los estigmas es un índice común de la precocidad el cual puede ostentar variaciones varietales entre 60 y 90 días, aun cuando el por ciento de humedad en el momento de la cosecha también da una medida de precocidad relativa (Llanos, 1984; Tadeo, 2004a; Malaver, 1998).

12.2. RESISTENCIA AL ACAME

La resistencia al acame es una resistencia conveniente en cualquier variedad o híbrido de maíz. Las pérdidas de rendimiento que causan el acame pueden deberse a la caída o a la ruptura de la planta (Milton, 1986). Que la plantación presente un alto porcentaje de plantas acamadas depende de varios factores ambientales (tipo de tierra, viento, etc.) , de modo que la propensión heredada por la variedad se manifestara de forma diferente en función de dichos factores naturales o técnicos, y podrá representar un problema económico más o menos grave.

Los productores siempre han deseado que su maíz se mantenga erguido hasta el momento de la cosecha (Aldrich, 1974), pues es frecuente que la mazorcas de la planta acamada se pierda durante la cosecha. El acame favorece el desarrollo de mazorcas de poco peso y maduración incompleta, por lo tanto, la calidad del grano es reducida si el tallo se rompe de tal modo que la mazorca se ponga en contacto con el suelo y sufra daños (Milton, 1986).

13. SIEMBRAS EN VALLES ALTOS CON TEMPORAL DESFAVORABLE.

13.1. Temporal desfavorable en México.

La siembra de temporal conocida también como cultivo de secado, se practica en altas áreas maiceras del mundo. En México más del 82% de la superficie cultivada por maíz es de temporal; esto explica, al menos parcialmente la baja producción unitaria promedio nacional. Para nuestro país donde la mayor parte del maíz se cultiva en temporal, la cantidad, distribución y eficiencia de lluvia son factores fundamentales para la producción del maíz. (Tadeo *et al*, 2005).

Se ha convenido considerar un temporal deficiente aquellas regiones con precipitación pluvial de 400 a 600 mm anuales y mal distribuidas, con temperaturas extremas y veranos muy cálidos que provocan altas transpiraciones y evaporaciones, presencia de heladas tardías y tempranas, vientos y granizadas. Sembrar en estas condiciones es un riesgo y una alta convicción de baja producción o cosechar solo rastrojo (Garduño, 2000; Llanos, 1985; Reyes, 1990).

El daño al maíz por efectos de calor y sequía o de ambos fenómenos a la vez por factores asociados a ellos, como una mayor caída de mazorcas, un ataque más fuerte del carbón o un mayor daño por insectos, tiene como efecto total; una reducción en el rendimiento y calidad del maíz. Este cultivo durante su ciclo agrícola de desarrollo requiere tiempo caluroso en el día, y fresco en la noche, con problemas cuando la temperatura promedio es inferior a 18.9°C durante el día y 12.8°C durante la noche. En general, la mayor producción de este cereal se logra en aquellos climas en donde las temperaturas en los meses calurosos varían entre 21°C y 27°C, con un periodo libre de heladas en su ciclo agrícola variable de 120 a 180 días. (Llanos, 1984; Reyes, 1990).

Las heladas son un riesgo serio en la producción del maíz; las heladas tardías de primavera pueden destruir las hojas que están sobre el suelo y retardan el crecimiento. Sin embargo, debido a que el punto de crecimiento de la planta se encuentra protegido por estar debajo de la superficie del suelo, la mayor parte de la planta se recupera. Por otra parte las heladas tempranas pueden producir un gran daño al maíz. Estas heladas pueden lesionar a las hojas a tal grado de que se retarda la elaboración del alimento y si es suficientemente severa cesa por completo. Como resultado de ello: la maduración es retardada o impedida, el rendimiento, la calidad se reducen y se ocasionan problemas de almacenamiento, debido al alto contenido de humedad del grano, a este tipo de inmaduro del maíz comúnmente se llama maíz suave. Puede contener hasta del 40 a 60% de humedad (Delorit, 1982).

El conocimiento de las temperaturas es fundamental para seleccionar la fecha óptima de siembra, eligiendo aquellas épocas libres de heladas en la germinación, en la floración y en la madurez del grano. En cuanto a los vientos, si estos son secos y cálidos aumentan las

pérdidas de agua y en algunas zonas reducen considerablemente los rendimientos (Reyes, 1990).

Aproximadamente la cuarta parte de la superficie del país, que se cultiva con maíz de temporal, se encuentra localizada en los Valles Altos; regiones que abarcan parte del Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Puebla, en las cuales existen zonas con temporal no favorable predominando las siguientes condiciones. (Peña y Rodríguez, 1988; Tadeo *et al*, 2004a)

- Agricultura dependiente del agua de lluvia.
- Precipitación pluvial total anual que va de regular a mala a través del año.
- Mala distribución del agua de lluvia.
- Presencia de heladas tardías y tempranas, reduciendo la estación de crecimiento con temperaturas favorables de 120 a 140 días.
- Presencia de granizo.
- Suelos poco fértiles, erosionados o con mal drenaje.

En los Valles Altos el ciclo de crecimiento de las plantas está fijado básicamente por la ausencia y presencia de heladas tardías y tempranas, respectivamente, así por la iniciación de la época de lluvias (Martínez, 1994).

Actualmente en estas regiones maiceras, se presentan las condiciones ambientales antes citadas, en los meses de marzo hasta mediados de abril, haciendo que los agricultores retracen sus fechas de siembra, anteriormente programadas en esos meses, hasta mayo y junio, dentro del cual se sabe que el temporal es más estable, sin embargo dicha actividad acorta la estación del crecimiento efectiva del maíz, incrementa el riesgo de exposición a heladas en la etapa previa a la maduración del grano.

En consecuencia se usará variedades de maíz de madurez temprana que, aseguren que la madurez fisiológica del grano ocurrirá antes de que se presente la primera helada (Mendoza, 1982; Arteaga y Tijerina, 1989).

14. PROTEÍNAS

Las Proteínas en general cumplen muchas funciones en nuestro organismo: forman parte de los núcleos celulares, de los tejidos y órganos, transportan el oxígeno, son enzimas, hormonas, anticuerpos, etc.

La administración proteínica en la dieta debe ser constante. Aportan 4 kcal por gramo, y la recomendación es que su consumo sea de 1 gramo de proteína por kg. de peso.

La carencia proteínica produce una disminución de la masa muscular, un metabolismo lento, bajo rendimiento físico e intelectual, fatiga, apatía, y deterioro general de todo nuestro organismo.

La dieta diaria debe contener proteínas tanto animales como vegetales en una manera proporcionada, ya que el organismo aprovecha los aminoácidos que componen a esas proteínas que provienen tanto de origen animal como de origen vegetal.

Las proteínas son macromoléculas formadas por la unión de miles o cientos de aminoácidos. Los aminoácidos se dividen en aminoácidos indispensables y dispensables. Los indispensables son aquellos que no son biosintetizados por nuestro organismo y deben incorporarse a través de la dieta. Los dispensables son sintetizados por nuestro metabolismo.

Los aminoácidos son fundamentales para el buen funcionamiento del organismo. Para una persona adulta son ocho los aminoácidos indispensables, mientras que durante el crecimiento se precisan dos más.

Aminoácidos indispensables: fenilalanina, leucina, isoleucina, lisina, metionina, treonina, *triptofano* y valina. Durante la infancia y adolescencia: arginina e histidina.

Aminoácidos dispensables: alanina, cisteína, cistina, glicina, hidroxiprolina, prolina, serina, tirosina, ácido aspártico, y ácido glutámico.

La calidad de una proteína depende de su contenido en aminoácidos indispensable. Esa calidad está medida por un índice llamado **valor biológico**; por lo tanto, una proteína es de alta calidad o tiene un alto valor biológico cuando es rica en aminoácidos esenciales. (Fennema, 1993)

14.1. DETERMINACIÓN DEL VALOR NUTRITIVO DE LAS PROTEÍNAS.

El valor nutritivo de un alimento como fuente proteínica refleja su aptitud para satisfacer las necesidades de nitrógeno y aminoácidos del consumidor, asegurando un crecimiento y mantenimiento adecuados, lo cual depende de varios factores.

- 1. Contenido proteínico.** Esta dado por la cantidad y por el grupo de alimento que se esté ingiriendo. La Organización Mundial de la Salud recomienda un valor diario de 0,8 gramos de proteína por kilogramo de peso.
- 2. Calidad de la proteína.** Depende del tipo y cantidad de aminoácidos y representa una medida de la eficacia con que puede ser utilizada por el organismo. Las proteínas de origen animal son de calidad superior que las de origen vegetal.
- 3. Disponibilidad de los aminoácidos.** Los aminoácidos de las proteínas presentes en la dieta no son siempre enteramente disponibles, dado que la digestión de la proteína o la absorción de los aminoácidos, pueden resultar incompletas. La baja utilización de ciertas proteínas puede ser debido a varios factores:

- Conformación de la proteína
- Fijación de metales, lípidos, ácidos nucleicos, celulosa u otros ingredientes polisacáridos a las proteínas, lo que puede dificultar su digestión.
- Presencia de factores antinutricionales.
- El tamaño y el área superficial de las partículas proteínicas.
- El procesado a elevadas temperaturas, pH alcalino, o en presencia de carbohidratos reductores, suelen disminuir la digestibilidad proteínica y limita la disponibilidad de varios aminoácidos especialmente la lisina.

Diferencias biológicas entre los distintos individuos, que influyen en su capacidad de digestión de proteínas y absorción de aminoácidos (Cheftel, 1989, Fennema, 1993).

La evaluación de la calidad proteínica de un alimento se puede determinar por diversos métodos como se describe a continuación:

14.1.1. MÉTODOS BIOLÓGICOS.

Se basan en la determinación del crecimiento o la retención de nitrógeno en animales experimentales como la rata, en función del consumo de proteína. Para obtener datos confiables se deben utilizar varios animales en cada ensayo, analizar los resultados estadísticamente y estandarizar las condiciones de ensayo (Fennema, 1993).

Para este tipo de ensayos se utiliza la rata Sprague Dowley debido a que es poco sensible a los factores ambientales e infecciosos y acepta regímenes sintéticos Pero la ventaja más evidente es la sensibilidad de su respuesta a las condiciones nutricionales por el simple seguimiento de su consumo diario es posible, en pocos días pronosticar la calidad nutricional del constituyente estudiado.

14.1.1.1. RELACIÓN DE EFICIENCIA PROTEÍNICA (REP)

Osborne, Mendel y Ferry (1919) introdujeron el concepto de Relación de Eficiencia Proteínica (REP), el cual es el método más comúnmente utilizado en la evaluación del valor nutritivo de proteínas. En este método se asume que el incremento en peso de ratas alimentadas con una dieta, bajo condiciones estandarizadas, es una medida confiable del valor nutritivo de una proteína dietética. REP se define como el peso en gramos ganado por las ratas por cada gramo de proteína consumida.

Existen numerosos factores que ejercen influencia sobre el valor experimental de REP como son: edad, sexo, cepa, calidad de la proteína, otros componentes de la dieta y las condiciones ambientales (luz, temperatura, humedad, jaulas). Por tanto se han estandarizado las condiciones del ensayo: se emplean ratas macho, detestadas entre los 21-23 días de edad, el intervalo de peso no debe exceder los 10 gramos, la prueba dura de 3 a 4

semanas. El nivel de inclusión de la proteína en la dieta es de 10%, las dietas de prueba y la dieta control deben ser isoproteicas e isocalóricas.

14.1.1.2. RELACIÓN NETA DE PROTEÍNA (RNP)

Cuando en el cálculo de REP, se incluye la pérdida de peso experimentada por un grupo de ratas sometidas a una dieta carente de proteínas, se puede estimar la proteína utilizada para el crecimiento y también el mantenimiento; obteniéndose el valor conocido como Relación Neta de Proteína (RNP). En esta prueba se mide la pérdida de peso de un grupo control sin proteína, que es sumada a la ganancia en peso del grupo de prueba y dividida entre la proteína consumida por el último grupo. Se asume que la proteína requerida para prevenir la pérdida de peso de las ratas alimentadas con la dieta libre de nitrógeno, es equivalente a las necesidades proteínicas para su mantenimiento.

14.1.1.3. DIGESTIBILIDAD

En principio, la medida de la digestibilidad es simple: un alimento se convierte en el intestino delgado, en nutrientes que atraviesan la membrana intestinal, con la excepción de un pequeño porcentaje. Como la medida directa de la fracción absorbida resulta difícil, habitualmente la digestibilidad se establece de manera indirecta determinando la cantidad no absorbida presente en la excreta fecal.

La determinación del consumo de nitrógeno y las pérdidas del mismo por las heces permite calcular el porcentaje de nitrógeno ingerido que se absorbe.

Este valor es un indicador inicial de la calidad nutritiva de un alimento y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Digestibilidad} = \frac{N_{\text{absorbido}}}{N_{\text{ingerido}}} \times 100$$

La digestibilidad aparente considera que el nitrógeno excretado es únicamente de origen alimentario, sin embargo en el organismo hay mecanismos de excreta endógenos (recambio proteico del tubo digestivo, secreciones, etc.), que deben ser incluidos para conocer el valor real de digestibilidad de una proteína alimentaria. Por lo tanto en el ensayo biológico se puede incluir un lote de animales sin aporte de proteína. El nitrógeno en las heces de estas ratas constituye la pérdida endógena de nitrógeno y con esto se puede determinar la cantidad de nitrógeno alimentario que fue absorbido.

Utilización Proteínica Neta (UPN)

Es el porcentaje del nitrógeno dietético ingerido que es retenido en el organismo para formación de tejidos. Para obtener valores verdaderos (no aparentes) es necesario tener en cuenta las pérdidas fecales y urinarias endógenas:

$$UPN = \frac{Ni - [(Nf - Nf, e) + (Nu - Nu, e)]}{Ni}$$

Donde:

i= ingerido

f= fecal

u= urinario

e= endógeno

Donde

N fecal = nitrógeno fecal provenientes del grupo de la dieta libre de nitrógeno

N urinario= nitrógeno urinario provenientes del grupo de la dieta libre de nitrógeno.

Este método es fácilmente aplicable a los seres humanos que no se encuentren en periodo de crecimiento. Cuando se trata de animales pequeños, el nitrógeno retenido se debe determinar directamente mediante análisis del canal.

Ventajas de los métodos biológicos:

- ✓ No requieren de equipo analítico sofisticado o demasiado caro.
- ✓ Se pueden analizar estadísticamente los resultados.
- ✓ Se pueden ensayar en diversos organismos en crecimiento, incluso en niños (cuando se utilizan alimentos convencionales).
- ✓ Se pueden hacer ordenaciones jerárquicas del valor nutritivo de las proteínas.
- ✓ Permiten detectar el deterioro de la calidad proteínica durante el procesado, siempre que el proceso afecte al aminoácido limitante.
- ✓ La biodisponibilidad de un aminoácido en la proteína sometida a ensayo se determina transformándolo en el nutricionalmente limitante, añadiendo a la dieta cantidades adecuadas del resto de los aminoácidos indispensables, en forma de aminoácidos libres.
- ✓ Utiliza modelos biológicos y dietas preparadas como serán consumidas, por lo que permite conocer la respuesta de un organismo con la dieta a evaluar.

Desventajas de los métodos biológicos:

- ✗ El peso ganado por los organismos de ensayo no siempre se debe a la proteína retenida, hay determinadas dietas que pueden provocar retención de agua y/o depósitos.
- ✗ El resultado depende de la cantidad de alimento ingerido, y la ingesta a su vez depende de la palatabilidad de la dieta.
- ✗ Algunas proteínas administradas al 10% no producen crecimiento e incluso pueden causar descenso de peso, por tanto no se obtiene ningún resultado del experimento.
- ✗ No identifican al aminoácido limitante de la proteína o dieta de estudio, a menos que se lleven a cabo varios experimentos adicionales, en presencia de aminoácidos libres añadidos.
- ✗ Son caros y exigen mucho tiempo.

14.1.2. MÉTODOS QUÍMICOS.

En estos métodos se estima el valor nutritivo de una proteína basándose en su contenido de aminoácidos esenciales y en la comparación del mismo con las necesidades del hombre (Fennema, 1993).

El método más usado es la determinación de la calificación química (chemical score). La calificación química de una proteína es el valor más bajo de la comparación que se lleva a cabo entre el contenido de aminoácidos de la proteína de estudio, con el contenido de aminoácidos de la proteína patrón de la FAO (basada en las necesidades de aminoácidos esenciales de los niños). El resultado de la comparación es expresado como la abundancia de cada uno de los aminoácidos en la proteína.

Para calcular la calificación química se utiliza la siguiente fórmula:

$$CQ = \frac{(Aam)(Taar)}{(Aar)(Taam)} \times 100$$

Donde:

Aam= gramos de aminoácido indispensable en la proteína problema.

Aar= gramos de aminoácido indispensable del patrón de referencia.

Taar= Total de aa indispensable en la proteína de referencia.

Taam= Total de aminoácidos indispensables en la proteína problema.

Los resultados se expresan como g de aminoácidos/16 g de Nitrógeno.

Ventajas:

- ✓ Si se conoce la calificación química (para todos los aminoácidos esenciales) de varias proteínas se puede calcular el valor de complementación de las diferentes proteínas de una mezcla.
- ✓ Las calificaciones químicas, basadas en el patrón de la FAO, permiten predecir correctamente la cantidad de una proteína (o de una mezcla de proteínas) necesaria para satisfacer las necesidades de aminoácidos para el crecimiento.
- ✓ Son más rápidos que los métodos biológicos.
- ✓ Permite conocer el perfil de aminoácidos de una proteína y por tanto conocer el aminoácido limitante.

Desventajas:

- ✗ Puede subestimar la calidad de una proteína para los adultos, dado que está basado en las necesidades de aminoácidos de los niños de corta edad.
- ✗ Requiere el uso de técnicas especiales para determinar el triptofano y metionina
- ✗ No tiene en cuenta los efectos negativos de los aminoácidos presentes en exceso, ni de los factores antinutritivos que el alimento contenga.
- ✗ No establece compensaciones para las diferencias en la digestibilidad de las proteínas o en la biodisponibilidad de aminoácidos específicos.

14.1.3. MÉTODOS ENZIMÁTICOS Y MICROBIOLÓGICOS.

14.1.3.1. Métodos enzimáticos

Los métodos enzimáticos utilizados para valorar la calidad de una proteína están basados en la determinación de los aminoácidos indispensables liberados de una proteína ensayada, cuando se expone a la acción de una o más proteasas, en condiciones normalizadas (Fennema, 1993).

Ventajas:

- ✓ Estos métodos permiten estimar la digestibilidad proteínica, el valor proteínico y/o la disponibilidad de algunos aminoácidos específicos.
- ✓ Son métodos rápidos, así que su empleo es útil para valorar los daños sufridos a las proteínas de los alimentos durante tratamientos industriales y el almacenamiento.
- ✓ Son más baratos y menos laboriosos que los métodos biológicos.

Desventajas:

- ✗ Se requiere del empleo de proteasas específicas y purificadas.
- ✗ No toma en cuenta los efectos negativos de los aminoácidos en exceso, ni de los factores antinutritivos del alimento.
- ✗ Simulan las condiciones y reacciones fisiológicas que se llevan a cabo dentro del organismo, por lo tanto sólo se puede estimar la digestibilidad aparente de una proteína, ya que la digestibilidad real depende de varios factores relacionados con el alimento y el organismo que lo ingiere.

14.1.3.2. Métodos microbiológicos.

Los microorganismos como las bacterias *Streptococcus zymogenes* y *Streptococcus lactis* se emplean para establecer el valor nutritivo de las proteínas, así como su contenido en aminoácidos disponibles. Estos microorganismos son mutantes dependientes del aminoácido que desea medir, en el caso del protozoario *Tetrahymena pyriformis* necesita aminoácidos en proporciones similares a las necesitadas por el hombre, sus velocidades de multiplicación sirven de medida del valor nutritivo proteínico (Fennema, 1993).

Ventajas:

- ✓ Son procedimientos rápidos (2-3 días) y los resultados se correlacionan bien con los alcanzados con otros métodos.
- ✓ Estos microorganismos poseen enzimas proteolíticas, por lo que también se emplean para determinar la cantidad de aminoácidos disponibles de una proteína (sin tener que llevar a cabo la hidrólisis ácida que libera tanto los aminoácidos disponibles como los no disponibles).

Desventajas:

- ✘ Se necesitan cepas puras de microorganismos específicos.
- ✘ Para el cultivo de estos microorganismos se necesitan de adecuadas condiciones (medios con los sustratos necesarios, condiciones de esterilidad, etc.).
- ✘ Se puede requerir de un tratamiento previo de las proteínas, para que el proceso hidrolítico por parte del microorganismo no sea lento.

Conocer la composición de aminoácidos, así como estimar la digestibilidad *in Vitro* de una proteína nos da una buena idea de la calidad de dicha proteína. Sin embargo, hay factores como la preparación del alimento o la presencia de factores antinutricionales que afectan la biodisponibilidad de los aminoácidos en el organismo. Es así, que la calidad de la proteína se puede evaluar de mejor manera mediante bioensayos, en los que se utilizan organismos íntegros experimentales alimentados con dietas preparadas de la forma en que serán consumidas posteriormente.

OBJETIVO GENERAL

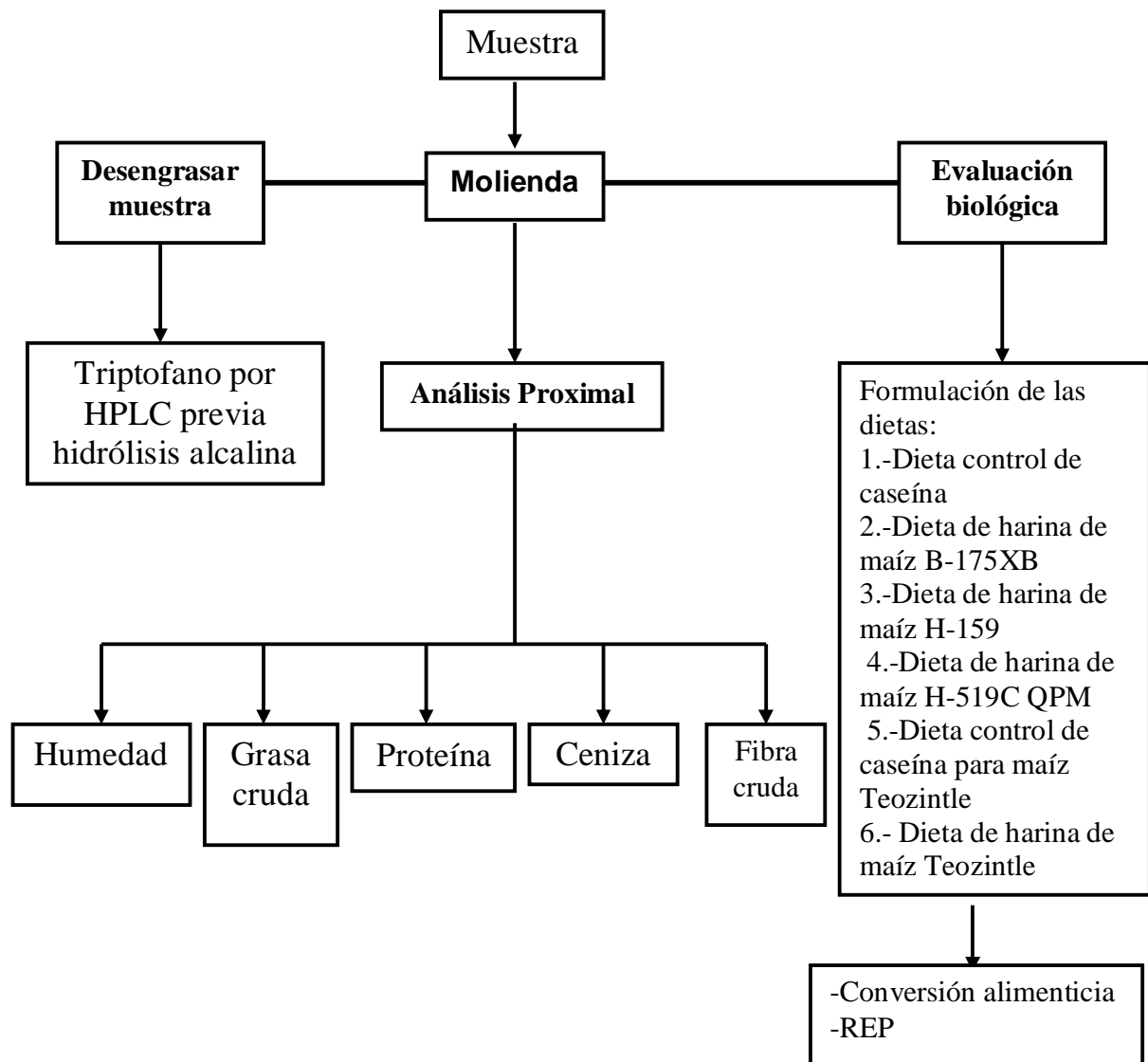
- ✓ Determinar la composición química de ocho maíces híbridos, un criollo y un primitivo, así como evaluar su calidad nutricia. Con el fin de conocer si sus macronutrientes fueron modificados por hibridación con respecto al primitivo (teozintle).

OBJETIVOS PARTICULARES.

- ✓ Determinar el contenido de macronutrientes en maíces genéticamente mejorados mediante la realización de un análisis proximal.
- ✓ Comparar la composición entre sí de ocho variedades de maíces genéticamente mejorados y con respecto a dos referencias (maíz teozintle y un maíz criollo B-175-XB).
- ✓ Realizar una determinación y cuantificación de triptofano por medio de HPLC.
- ✓ Evaluar la calidad proteínica mediante un estudio de Relación de Eficiencia Proteínica (REP) utilizando dietas a base de harina de maíz híbrido, criollo, un primitivo y un híbrido con alta calidad proteínica (QPM).

METODOLOGÍA

I. DIAGRAMA GENERAL DE INVESTIGACIÓN



2. INFORMACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras de maíz teozintle, H-553C QPM y H-519C QPM se obtuvieron a través del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), estas muestras venían en grano.

Las muestras de maíces híbridos H-159, H-58, H-151, H-161, H-155, H-S2 y un maíz criollo B-175XB venían en mazorca, fueron proporcionadas por agricultores del estado de Hidalgo de la primera cosecha de la siembra del 7 de Mayo del 2006, en la Zona del Distrito de riego No. 3.

Las muestras fueron entregadas al laboratorio 111 del Conjunto E de la Facultad de Química, UNAM para su estudio.

3. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

3.1. CONSERVACIÓN DE LA MUESTRA.

Las muestra se encontraban en mazorca fueron desgranadas. Las muestras en grano se colocaron en bolsas de plástico a las cuales se les coloco charolas de aluminio que contenían algodón humedecido de tetracloruro de carbono y fueron cerradas.

El tetracloruro de carbono se coloco con el fin de no permitir el desarrollo de gorgojo, el cual afectaría la muestra.

Posteriormente a las muestras de maíces se les realizó una inspección, de las muestras que estaban contaminadas con hongos de las cuales se recuperaron los granos que no estaban infestados

Molienda:

A la muestra de maíz en grano se le realizo una molienda en un molino (Thomas Wiley, Lab. Mill modelo 4) con un tamaño de partícula de 1 mm. Obteniéndose la harina de maíz. Las muestras de harina fueron colocadas en frascos de vidrio bien tapados y etiquetados, hasta su utilización.

Se obtuvo 100g de harina de cada muestra, posteriormente se determina composición proximal de las diferentes muestras estudiadas.

Para los estudios de análisis proximal realizados a las diferentes muestras de maíz se hicieron de acuerdo a los métodos de la AOAC (1990) y se describen en el **Anexo 1**

3.2. ANÁLISIS PROXIMAL

El análisis proximal es la estimación porcentual de los componentes de un alimento. Este análisis incluye las determinaciones de humedad, grasa cruda, proteína cruda, cenizas, fibra cruda, y carbohidratos asimilables por diferencia.

3.2.1. Determinación de humedad analítica

Fundamento

Es un método que involucra la determinación de la pérdida de peso debida a la evaporación de agua en el punto de ebullición o temperaturas cercanas a él. La proporción de agua perdida aumenta al elevar la temperatura; por lo tanto, es importante comparar sólo los resultados obtenidos usando las mismas condiciones de secado, más aún, si es factible que ocurra alguna descomposición. A su vez la pérdida en peso depende de diversos factores como son: el tamaño de la partícula y el peso de la muestra, el tipo de cápsula de porcelana y las variaciones de temperatura entre una y otra charola del horno.

La determinación en la muestra se realizó en una estufa de vacío la cual mantuvo las siguientes condiciones: Presión no menor a 15 mm de Hg y temperatura de 60-65°C, por aproximadamente 96 horas, hasta alcanzar el peso constante.

3.2.2. Determinación de grasa cruda

Fundamento

Los constituyentes grasos de las materias orgánicas son diversas sustancias lipídicas. El contenido de grasa, es aquel que puede ser extraído por los disolventes menos polares como lo son el éter de petróleo o el éter etílico. La determinación se basa en la extracción con una fracción ligera de petróleo o éter etílico del material seco y molido en un aparato de extracción continua en el que las gotas condensadas de disolvente caen sobre la muestra contenida en un recipiente poroso o dedal, alrededor del cual pasan los vapores calientes del disolvente. El extracto seco sin disolvente obtenido se determina gravimétricamente.

La determinación se realizó en un aparato de extracción de Goldfish y el disolvente empleado fue éter de petróleo. La extracción se llevó a cabo con el control de calentamiento en la posición de LOW durante 2 horas.

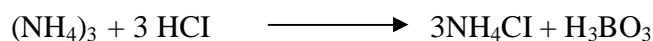
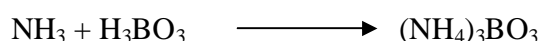
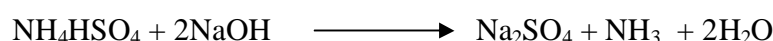
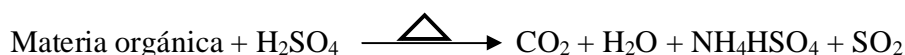
3.2.3. Determinación de Proteína

Fundamento

El método comúnmente utilizado para determinar proteína es el método Kjeldahl, que en realidad determina el nitrógeno total contenido en una matriz alimenticia, calculándose finalmente el contenido proteínico con ayuda de un factor de 6.25 ya que, por lo general, las proteínas tienen 16 % de nitrógeno. Este método se basa en el sometimiento de la muestra a un tratamiento oxidativo por calentamiento con ácido sulfúrico concentrado en presencia de una mezcla de catalizadores metálicos para reducir el nitrógeno orgánico de la

muestra hasta nitrógeno inorgánico en forma de sulfato ácido de amonio. Del sulfato ácido de amonio formado se libera el nitrógeno en forma de amoniaco por tratamiento alcalino el cual se destila directamente o por arrastre de vapor a un recipiente con una solución de ácido bórico en donde es atrapado, formando borato de amonio y posteriormente titulado con ácido clorhídrico valorado.

Las reacciones antes descritas se muestran a continuación:



3.2.4. Determinación de ceniza

Fundamento

El concepto de cenizas se refiere al residuo inorgánico que queda tras la combustión (incineración) completa de los componentes orgánicos contenidos en una matriz alimenticia, en unas condiciones determinadas. La determinación de ceniza se basa en la destrucción de la materia orgánica, al someter la muestra a 550°C en una mufla. El residuo de incineración se calcula por diferencia de peso.

3.2.5. Determinación de fibra cruda

Fundamento

La fibra cruda es el residuo orgánico insoluble y comestible que queda después de tratar la muestra en unas condiciones determinadas. Las condiciones más comunes son tratamientos consecutivos, ebullición con ácido sulfúrico diluido seguida de una ebullición con hidróxido de sodio diluido y una posterior incineración del material insoluble, de tal modo que por diferencia es posible obtener el contenido de hidratos de carbono no degradables. Este tratamiento empírico proporciona la fibra cruda, que consiste principalmente en celulosa y cierta proporción de lignina y hemicelulosa contenidas en la muestra original.

3.2.6. Cálculo de Hidratos de carbono digerible

El contenido de hidratos de carbono digeribles se obtiene teóricamente restando al 100% el resultado de la suma de los porcentajes de humedad, grasa cruda, proteína cruda, cenizas y fibra cruda contenidos en la muestra.

$$\% \text{CHO}'s = 100 - (\% \text{humedad} - \% \text{grasa cruda} - \% \text{proteína cruda} - \% \text{cenizas} - \% \text{fibra cruda})$$

3.3. DETERMINACIÓN DE TRIPTOFANO POR HPLC

Fundamento

La cromatografía de líquidos de alta resolución es la técnica de separación mas ampliamente utilizada para la determinación de aminoácidos. Las razones mas importantes son su sensibilidad, su fácil adaptación a las determinaciones cuantitativas exactas, su idoneidad para la separación de especies no volátiles o termolábiles

La determinación del triptofano solo es posible a través de una hidrólisis alcalina, ya que la hidrólisis ácida lo transforma en amonio afectando su estabilidad y la exactitud de la determinación. La muestra es hidrolizada en medio básico, seguidamente se realiza un ajuste de pH. El triptofano es separado por cromatografía líquida de intercambio iónico y determinada por un detector UV a 280nm. Para ello se elaboró una curva estándar a partir de una solución estándar de triptófano de 0.51 mg/mL. Para la determinación del triptofano en la muestra se realizo una hidrólisis alcalina con LiOH 4 N a 100°C durante 6 horas. **ver anexo 1**

3.4. EVALUACION NUTRIMENTAL

En esta etapa se evaluó la calidad proteínica de 4 muestras de maíz (teozitle, criollo B-175XB, híbrido H-159 e híbrido de alta calidad proteica H-519C QPM) así como la comparación entre si. Con el objetivo de conocer los cambios presentados por el mejoramiento genético

3.4.1 Preparación de las dietas para el estudio biológico

Materias primas.

Para la posterior elaboración de las dietas a evaluar en el ensayo biológico las materias primas se obtienen utilizando 4 muestras de maíz:

Maíz Teozintle

Maíz criollo B-175XB

Maíz híbrido H-159

Maíz hibrido de alta calidad proteínica H-519C QPM

Harina de maíz:

Al grano de maíz se le realizo una molienda en un molino (Thomas Wiley, Lab. Mill modelo 4) hasta tener una harina homogénea con un tamaño de partícula de 1 mm.

Previamente se realizó el análisis proximal con los procedimientos de la AOAC (1990) descritos en el **anexo 1**, con la finalidad de preparar las dietas de ensayo isoproteínicas e isocalóricas, con respecto a la dieta de estudio que presente el valor mas bajo de proteína.

Dietas de estudio.

Las dietas que se utilizaron en el bioensayo fueron:

- Ü Dieta control de caseína para híbridos y criollos (8.5 % de proteína, 1603.5 kJ/100 g de muestra)
- Ü Dieta de harina de maíz criollo B-175XB (7.8% de proteína, 1474.6 kJ/100 g de muestra)
- Ü Dieta de harina de maíz híbrido H-159 (7.7% de proteína, 1480.7 kJ/100 g de muestra)
- Ü Dieta de harina de maíz híbrido H-519C QPM. (7.9% de proteína, 1541.5 kJ/100 g de muestra)
- Ü Dieta control de caseína para teozintle (7.0 % de proteína, 1449.5 kJ/100 g de muestra)
- Ü Dieta de harina de maíz Teozintle (6.5 % de proteína, 1375.9 kJ/100 g de muestra)

Las dietas experimentales preparadas son isoproteicas e isocalóricas con respecto a la dieta control de caseína.

Las formulaciones de éstas dietas se muestran en la tabla 5 y 6, para su cálculo se utiliza el análisis proximal de los maíces en forma de harina, su procedimiento para prepararla se describe en el **anexo 2**.

Tabla 5. Composición de las dietas empleadas en la prueba biológica (g/100g de dieta)

INGREDIENTES (g)	Dieta control de caseína 8.5% proteína	Dieta de harina de maíz		
		B-175XB 7.8 % proteína	H-159 7.7 % proteína	H-519C QPM 7.9 % proteína
Harina de maíz	—	83.00	74.69	97.08
Caseína (90%)	9.44	—	—	—
Sacarosa	25.33	3.27	5.44	—
Dextrina	28.79	3.71	6.18	—
Dextrosa	21.88	2.82	4.69	—
Manteca vegetal	2.86	—	0.73	—
Aceite de maíz	2.14	—	0.55	—
Mezcla de sales	4.00	2.93	2.86	0.97
Mezcla de vitaminas	2.00	2.00	2.00	1.95
Celulosa	3.56	2.27	2.86	—

La dieta control para teozintle se elaboro con respecto a la dieta de teozintle , por su bajo contenido proteínico.

**Tabla 6. Composición de las dietas (teozintle) empleadas en la prueba biológica (g/100g de dieta)*

INGREDIENTES (g)	Dieta control de caseína para Teozintle 7.00 % de proteína	Dieta de harina de maíz Teozintle 6.51 % de proteína
Harina de maíz	—	86.96
Caseína (90%)	7.73	—
Sacarosa	17.39	—
Dextrina	19.76	—
Dextrosa	15.02	—
Manteca vegetal	6.95	6.46
Aceite de maíz	5.22	4.84
Mezcla de sales	1.74	—
Mezcla de vitaminas	3.48	1.74
Celulosa	22.71	—

Al séptimo día del bioensayo 2 ratas que se alimentaron con dieta preparada con maíz teozintle murieron y las ratas restantes de ambas dietas perdieron peso, por lo que se agrego a las dos dietas (control y teozintle) 6.9 g de caseína por cada 100 g de dieta, lo cual a partir del octavo día se proporciono a las ratas las dos nuevas dietas hasta el final del bioensayo. La formulación de estas nuevas dietas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Composición de las dietas + 6.9 g de caseína empleadas en la prueba biológica (g/100g de dieta)

INGREDIENTES (g)	Dieta control de caseína para Teozintle 12.32 % de proteína	Dieta de harina de maíz Teozintle 11.9 % de proteína
Harina de maíz	—	81.35
Caseína (90%)	13.69	6.45
Sacarosa	16.27	—
Dextrina	18.48	—
Dextrosa	14.05	—
Manteca vegetal	6.50	6.04
Aceite de maíz	4.88	4.53
Mezcla de sales	1.63	—
Mezcla de vitaminas	3.26	1.63
Celulosa	21.24	—

3.4.2. Evaluación biológica de las muestras de harina de maíz

Relación de Eficiencia Proteínica (REP)

Se realizó el método biológico de REP que se utiliza para evaluar la calidad de una fuente proteínica y se basa en que, el incremento en peso de las ratas alimentadas con una dieta bajo condiciones estandarizadas, provee una medida confiable del valor nutritivo de la proteína. El procedimiento realizado se describe en el **Anexo 2**.

3.4.3. Conversión alimenticia

La conversión alimenticia se utiliza para determinar el consumo de alimento, se procede a realizar cada tercer día por la mañana el pesaje de alimento rechazado, para luego restárselo a la cantidad de concentrado ofrecido, obteniéndose así el consumo de concentrado por tratamiento.

Este parámetro indica la cantidad de alimento ingerido promedio por los animales para subir 1g de peso durante el ensayo.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición proximal y análisis estadístico.

En la tabla 8 se presentan los resultados de la composición química de las diferentes muestras, así como un estudio estadístico, donde se indica si existe diferencia significativa entre las muestras.

Tabla 8. Composición química de diez variedades de maíces (g/100g de muestra húmeda)*

Maíz	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra	Hidratos de carbono
Teozintle	6.74 ±0.06 ^a	7.49 ±0.09 ^b	0.94 ±0.01 ^a	3.85 ±0.14 ^f	25.34 ±0.68 ^e	55.64
B-175XB	9.44 ±0.10 ^f	9.36 ±0.06 ^e	5.56 ±0.09 ^g	1.17 ±0.02 ^a	2.33 ±0.088 ^d	72.15
HS-2	6.94 ±0.14 ^b	7.69 ±0.19 ^{b,c}	5.19 ±0.11 ^f	1.18 ±0.07 ^a	1.91 ±0.03 ^{a,b,c}	77.09
H-58	7.32 ±0.18 ^c	7.16 ±0.07 ^a	4.64 ±0.11 ^{d,e}	1.19 ±0.02 ^a	1.92 ±0.03 ^{a,b}	77.78
H-151	8.95 ±0.03 ^e	8.57 ±0.21 ^d	4.71 ±0.09 ^e	1.30 ±0.02 ^{b,c,d}	1.83 ±0.07 ^{a,b,c}	74.63
H-155	7.03 ±0.02 ^b	8.58 ±0.13 ^d	5.46 ±0.02 ^g	1.35 ±0.02 ^{c,d,e}	1.65 ±0.01 ^a	75.93
H-159	9.39 ±0.06 ^f	10.32 ±0.15 ^g	4.51 ±0.08 ^d	1.39 ±0.02 ^{d,e}	2.20 ±0.07 ^{c,d}	72.19
H-161	7.43 ±0.03 ^c	9.64 ±0.07 ^f	4.26 ±0.09 ^c	1.29 ±0.04 ^{b,c}	1.68 ±0.02 ^a	75.69
H-519C QPM	7.41 ±0.16 ^c	7.88 ±0.10 ^c	4.74 ±0.22 ^e	1.23 ±0.01 ^{a,b}	2.04 ±0.05 ^{b,c,d}	76.70
H-553C QPM	8.11 ±0.04 ^d	8.60 ±0.14 ^d	4.05 ±0.14 ^b	1.40 ±0.02 ^e	2.00 ±0.04 ^{b,c,d}	75.84

*Coeficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ±desv.est. de un triplicado.

Diferentes letras dentro de la misma columna indican diferencia estadísticamente significativas (p= 0.05)

Se observar que las muestras que presentan mayor humedad fueron B-175XB (maíz criollo) y H-159, los demás valores están por debajo de estos, la variación del contenido de humedad se puede deber a las condiciones de almacenamiento.

Los resultados de las demás determinaciones se expresan en base seca ya que así la comparación no es afectada con el contenido de agua en los diferentes componentes, puesto que la humedad inicial de la muestra puede variar, por cuestiones ambientales.

En la tabla 9 se observa el contenido de proteína que presenta cada muestra de harina de maíz indicando si existe diferencia estadísticamente significativa entre las muestras

Tabla 9. Contenido de proteína en harina de maíz (g/100g de muestra seca)*

Maíz	Proteína
TEOZINTLE	8.03±0.09 ^b
B-175XB	10.24±0.17 ^e
HS-2	8.27±0.08 ^{b,c}
H-58	7.72±0.08 ^a
H-151	9.41±0.23 ^d
H-155	9.23±0.14 ^d
H-159	11.38±0.17 ^f
H-161	10.41±0.07 ^e
H-519C QPM	8.52±0.11 ^c
H-553C QPM	9.36±0.69 ^d

*Coeficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ±desv.est. de un triplicado. Diferentes letras dentro de la misma columna, indica diferencias estadísticamente significativas (p>0.05)

El híbrido H-58 presenta el menor contenido de proteína con respecto al teozintle y al maíz criollo, esto no asegura que sea un híbrido de baja calidad, o bien, puede ser que la hibridación en esta variedad solo fue realizada para su rendimiento en la producción y no para mejorar la calidad nutricional.

Al comparar las muestras de maíces híbridos con las muestras de maíz criollo y teozintle se observa que la hibridación ha tenido diferentes efectos en el contenido de proteína, ya que se tienen valores menores, iguales o mayores.

Los híbridos de alta calidad proteínica H-519C QPM y H-553C QPM, no son los que presentaron mayor contenido de proteína, aun que para determinar su calidad proteínica se realizó una cuantificación de triptofano, al igual que una prueba biológica (REP).

Los aminoácidos ayudan a reponer las células de los tejidos que mueren o crean tejidos nuevos. Por eso es tan importante que al crear híbridos de maíz estos contengan una concentración más alta de aminoácidos esenciales como es el triptofano en el contenido de proteína total.

Tabla 10. Contenido de grasa de harina de maíz (g/100g de muestra seca)

Maíz	Grasa
TEOZINTLE	1.01±0.01 ^a
B-175XB	6.14±0.09 ^g
HS-2	5.58±0.12 ^e
H-58	5.01±0.11 ^d
H-155	5.87±0.02 ^f
H-151	5.18±0.09 ^d
H-159	4.98±0.08 ^d
H-161	4.61±0.09 ^c
H-519C QPM	5.12±0.23 ^d
H-553C QPM	4.40±0.15 ^b

Coefficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ±desv.est. de un triplicado.
Diferentes letras dentro de la misma columna, indica diferencias estadísticamente significativas (p>0.05)

En la tabla 10 se presentan los valores de grasa de las variedades de maíz estudiadas.

El maíz teozintle es el que presentó menor contenido de grasa cruda ya que esta muestra proviene de un maíz primitivo sin haber sufrido ninguna modificación. Se toma esta muestra como referencia para indicar los cambios de contenido de nutrientes que ha sufrido el maíz al llevarse a cabo la hibridación. Con lo anterior podemos decir que la hibridación modificó el contenido de grasas en los maíces estudiados, ya que los maíces híbridos y QPM son diferentes estadísticamente (p>0.05) respecto al maíz primitivo al contener mayor cantidad de grasa.

Se observa que el maíz criollo es el que presentó mayor contenido de grasa. Los maíces híbridos presentan diferencia estadísticamente significativa (p>0.05) con respecto al maíz criollo, ya que presentan un contenido menor de grasa; los valores se encuentran en un intervalo de 4.40 a 5.87%.

TABLA 11. Contenido de cenizas de harina de maíz (g/100g de muestra seca)

Maíz	Cenizas
TEOZINTLE	4.12 ±0.15 ^e
B-175XB	1.29 ±0.03 ^a
HS-2	1.26 ±0.01 ^a
H-58	1.28 ±0.02 ^a
H-151	1.43 ±0.03 ^{c,d}
H-155	1.47 ±0.02 ^{c,d}
H-159	1.53 ±0.03 ^{c,d}
H-161	1.40±0.04 ^{b,c}
H-519C QPM	1.33 ±0.01 ^{a,b}
H-553C QPM	1.52 ±0.02 ^d

Coefficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ±desv.est. de un triplicado.
Diferentes letras dentro de la misma columna, indica diferencias estadísticamente significativas (p>0.05)

La tabla 12 muestra el contenido de cenizas en la cual es notable que la referencia de maíz primitivo tiene una concentración significativamente mayor de cenizas, el valor es alto con respecto al contenido de cenizas de las muestras de los maíces híbridos, los QPM y el criollo ya que sus valores se encuentran entre 1.26 a 1.53%.

La hibridación no modificó de manera considerable el rango de concentración de cenizas entre los híbridos y el criollo.

Tabla 12. Contenido de fibra de harina de maíz (g/100g de muestra seca)

Maíz	Fibra
TEOZINTLE	27.17±0.73 ^c
B-175XB	2.57 ±0.10 ^d
HS-2	1.96 ±0.03 ^{a,b}
H-58	1.92 ±0.02 ^{a,b}
H-151	2.01 ±0.08 ^{a,b,c}
H-155	1.69 ±0.004 ^a
H-159	2.20±0.07 ^{c,d}
H-161	1.68 ±0.02 ^a
H-519C QPM	2.21 ±0.06 ^{b,c,d}
H-553C QPM	2.18 ±0.04 ^{b,c,d}

Coefficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ±desv.est. de un triplicado. Diferentes letras dentro de la misma columna, indica diferencias estadísticamente significativas (p>0.05)

La muestra de maíz que presenta diferencia significativa con todas las muestras es la del maíz teozintle con un contenido alto de fibra (ver tabla 11). Al compararlo con valores reportados en la literatura de diversos maíces va de un rango de 0.6 a 2.3 quiere decir que el teozintle rebasa de una manera sorprendente el contenido de fibra bruta de un maíz común, como por ejemplo el maíz amarillo crudo con un contenido de fibra de 2.34%.

El maíz criollo no presenta diferencia significativa con el híbrido H-159 ni con los dos maíces de alta calidad proteica. Pero si presenta diferencia estadística con los otros híbridos estudiados, lo que nos indica que la hibridación, si modificó el contenido de fibra en los híbridos HS-2, H-58, H-151, H-155 y H-161 aunque en muy poca cantidad, hay que tener en cuenta que al aumentar el contenido de fibra puede disminuir el contenido de otros componentes como proteínas, grasa u otros nutrimentos. Es importante mencionar que los maíces híbridos tienen un fin específico y por lo tanto la modificación genética estará basada en ese fin.

Tabla 13. Contenido de hidratos de carbono**

Maíz	Hidratos de carbono
TEOZINTLE	59.67
B-175XB	79.76
HS-2	82.93
H-58	84.07
H-155	81.74
H-151	81.97
H-159	79.91
H-161	81.9
H-519C QPM	82.82
H-553C QPM	82.54

**Hidratos de carbono, calculados por diferencia

En cuanto al contenido de hidratos de carbono, en la tabla 13 se observa que las referencias tienen los valores más bajos, notablemente el teozintle que presenta el valor más bajo. Esto es lógico, ya que al tener un contenido alto en fibra (ver tabla 11) el contenido de hidratos de carbono disminuye. Los maíces híbridos estudiados presentan un alto contenido de hidratos de carbono con respecto al teozintle y al criollo.

De todos los granos o cereales el maíz proporciona la más alta conversión de sustancia seca en carne, leche y huevos debido a su gran contenido de almidón y su bajo contenido en fibra.

Determinación de triptofano:

Como ya se vio anteriormente, los maíces de alta calidad proteica (H-519C QPM y H-553C QPM) no son los que presentaron un alto porcentaje de proteína, sin embargo, la calidad de la proteína del maíz se debe fundamentalmente a los aminoácidos esenciales lisina y **triptofano**.

En la tabla 14 se muestra el contenido de triptofano presente en las diez muestras de maíz. Se determinó el contenido de triptófano por HPLC previa hidrólisis alcalina.

Tabla 14. Contenido de triptofano presente en la proteína de maíz ^a

Muestra de maíz	triptofano g /100g proteína
Teozintle	1.078 ^h ± 8.55
B-175 XB	0.310 ^a ± 1.19
H-S2	0.519 ^g ± 2.07
H-58	0.321 ^b ± 4.76
H-151	0.383 ^d ± 1.52
H-155	0.432 ^e ± 5.78
H-159	0.312 ^a ± 3.29
H-161	0.364 ^c ± 1.72
H-519C QPM	0.553 ^g ± 7.62
H-553C QPM	0.510 ^f ± 6.24

Coeficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ± desv. est. de un triplicado. Diferentes letras dentro de la misma columna, indica diferencias estadísticamente significativas (p>0.05)

De acuerdo a la tabla anterior, la determinación indica que la muestra que presenta mayor cantidad de triptofano en la proteína del maíz es el Teozintle.

El maíz criollo B-175 XB tiene menor contenido de triptófano y no presenta diferencia estadísticamente significativa con el híbrido H-159.

Las variedades restantes presentan diferencia estadísticamente significativa entre ellas.

El maíz HS-2 no presenta diferencia estadísticamente significativa con el maíz H-519 CQPM, siendo este un híbrido de alta calidad proteica.

El maíz H-553CQPM presenta diferencia estadísticamente significativa con los maíces anteriormente mencionados presentando un menor contenido de triptófano.

En la literatura (INAFAP) se reporta que un maíz híbrido de alta calidad proteica contiene en promedio 1 % de triptófano y la proteína del maíz normal contiene 0.47 % de triptófano.

El contenido de triptófano de las 2 muestras de maíces híbridos QPM estudiados no es similar a los valores del contenido de triptófano de maíces QPM obtenidos en la literatura, mas bien se asemejan estos valores a los de un maíz normal, no modificado por hibridación.

Sin embargo aunque el teozintle sea la muestra que presenta mayor cantidad de triptofano, tiene una cantidad baja de proteína, además se tiene que considerar que tiene menor disponibilidad biológica; ya que también se observo que es la muestra que contiene una gran cantidad de fibra (27.17%) en comparación a las demás muestra estudiadas, así como un bajo contenido de hidratos de carbono y grasa.

Al presentar mayor contenido de fibra el teozintle, ocasionara que se acelere el avance de los alimentos que pasan a lo largo del aparato digestivo. Por esta razón es importante saber la disponibilidad biológica de la proteína de maíz, realizando un estudio biológico (REP), con las muestras que presentan variación entre si, en el contenido de triptofano y en su composición química.

Para el estudio biológico (REP) se escogieron 4 muestras con las siguientes características:

1. Teozintle: esta muestra presenta un alto contenido de triptofano y fibra, pero un bajo contenido de grasa e hidratos de carbono
2. Maíz criollo (B-175XB): este maíz no ha sido mejorado genéticamente.
3. Maíz híbrido (H-159): es un híbrido que presento menor contenido de triptofano.
4. Maíz de alta calidad proteica (H-519C QPM): de las dos muestras de maíces de alta calidad, este maíz es el que presenta mayor contenido de triptofano.

Resultados de prueba biológica (REP)

Crecimiento de los grupos de ratas alimentados con las dietas a base de maíz criollo, híbrido e híbrido de alta calidad proteínica.

En la tabla 15 se observa los cambios de incremento en peso corporal promedio que tuvieron las ratas durante los 21 días de experimentación. Los animales que fueron alimentados con la dieta Q (harina de maíz H-519 QPM) presentaron un mayor incremento en peso que los alimentados con la dietas H (harina de maíz H- 159) y la dieta C (harina de maíz criollo B-175 XB) como única fuente de proteína, sin embargo este incremento no fue superior al observado en el control de la caseína.

Tabla 15. Incremento del peso corporal de las ratas alimentadas con las dietas de ensayo¹

Tiempo (días)	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q	Dieta TT	DietaT
2	0.45 ±2.39	0.77 ±0.64	0.35 ±0.89	0.03 ±1.90	-3.55±1.89	-5.12 ±0.78
5	7.05 ±4.13	2.00 ±1.36	3.15 ±1.54	4.70 ±1.91	-2.52±3.36	-6.55 ±1.53
7	16.12 ±5.84	2.67 ±1.45	4.30 ±2.12	8.78 ±2.85	6.27±5.45	-6.12 ±1.81
9	24.02 ±6.66	3.20 ±1.53	5.65 ±2.40	12.67 ±2.26	12.73±5.95	-6.13 ±0.79
12	36.62 ±7.69	4.97 ±1.38	9.07 ±1.69	19.00 ±2.87	30.17±7.80	-3.8 ±2.62
14	44.65 ±6.19	6.03 ±1.78	9.12 ±2.38	23.60 ±3.71	38.70±11.54	-0.75 ±3.97
16	52.08 ±6.07	8.00 ±1.74	12.27 ±3.03	30.67 ±4.77	48.98±8.42	1.50 ±5.10
19	60.22 ±8.32	9.77 ±1.80	15.77 ±2.85	37.33 ±6.44	60.73±6.05	2.43 ±6.09
21	65.70 ±9.90	11.15 ±1.83	18.18 ±2.86	42.27 ±7.60	68.45±5.47	3.28 ±6.65

1. Promedio del incremento de peso en el lote de las ratas en gramos ± desviación estándar.

Dieta TM: dieta referencia de caseína
Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB
Dieta TT: dieta referencia de caseína para teozintle

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159
Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM
Dieta T: dieta de harina de maíz teozintle

En la figura 5 se observa que los lotes de todas las ratas aumentaron gradualmente de peso, pero con diferente magnitud y velocidad (figura 5). El menor incremento en peso se presentó en el lote alimentado con la dieta H en comparación con las dietas Q, TM, y C, esto se debe probablemente el contenido de triptofano que es bajo, aunque su contenido de proteína es similar al de las otras dietas.

Las ratas que se alimentaron con las dietas T y TT empezaron a perder peso, en el séptimo día del bioensayo dos ratas que se alimentaron con la dieta T murieron, por lo que a las dos dietas se les adiciona 6.9 g de caseína; al observar la figura 5, los resultados nos indican que las ratas ganaron peso con la dieta modificada.

Las ratas alimentadas con la dieta Q (harina de maíz H-519QPM), presentaron un mayor incremento en peso, esto era de esperarse, ya que esta muestra se trata de maíces de alta calidad proteínica, con un contenido de Trp 553.76 mg / 100g de proteína (ver tabla 14).

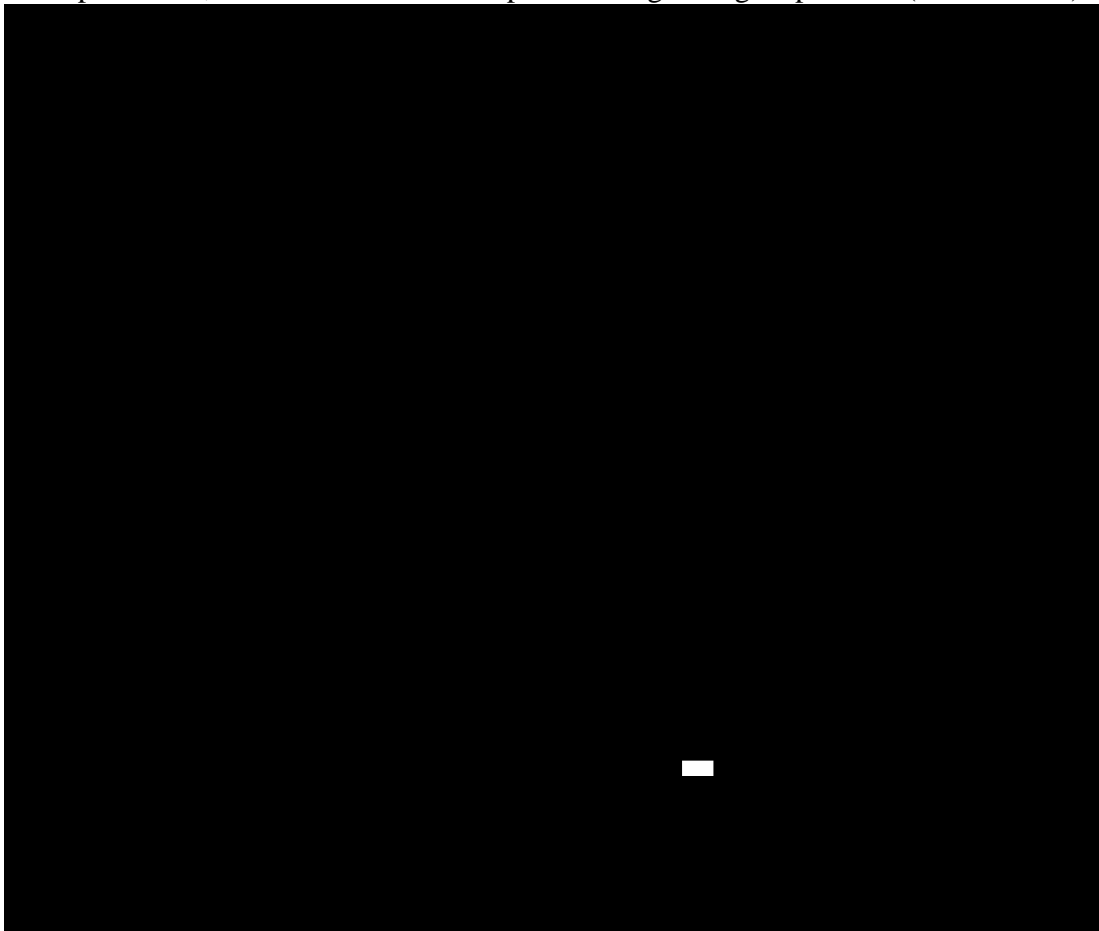


Figura 6. Curva de crecimiento de los animales de prueba alimentados con las dietas de estudio y el control de caseína.

Cabe mencionar que la dieta C presentó un menor incremento en peso en comparación con la dieta Q, era de esperarse ya esta última dieta se elaboró con un maíz híbrido mejorado para aumentar su calidad proteínica.

La dieta C presentó un mayor incremento en peso en comparación con la dieta H, justificándose que algunos híbridos de maíz son mejorados para obtener alguna de las siguientes propiedades: adaptación al suelo, mayor producción, resistencia a plagas y resistencia al medio ambiente entre otras.

Se observa que al adicionar la caseína a la dieta de referencia de caseína para teozintle, las ratas aumenta su peso hasta llegar a ser mejor que la dieta de referencia de caseína elaborada para los maíces híbridos y criollo, ya que al ser agregado 6.9 g de caseína por cada 100g de dieta de referencia para teozintle aumenta su contenido de proteína hasta un 12.32%

Para la dieta de teozintle aunque fue adicionada 6.9 g de caseína, las ratas alimentadas con esta dieta aumentaron poco su peso, esto se debe a que la muestra de teozintle, aunque tiene un alto contenido de triptófano, también se debe considerar su alto contenido de fibra, lo que provoca una baja digestibilidad.

Conversión alimenticia

En la tabla 16 se muestran los valores de conversión alimenticia, este parámetro indica la cantidad de alimento ingerido por los animales para subir 1g de peso durante el ensayo.

Como ya se menciono dos de los animales sometidos a la dieta T (harina de maíz teozintle) mueren al día 7, la causa es la cantidad de proteína, la cual no fue la necesaria para cubrir sus requerimientos metabólicos, además que la cantidad de fibra es muy elevada siendo de 27.17 g/100g de muestra (ver tabla 12). En consecuencia se tuvo que modificar la dieta agregándole caseína (6.9 g de caseína/100 g de dieta), tanto a la dieta TT (dieta referencia de caseína para teozintle), como a la dieta T al día 8. Se observa que las ratas sometidas a la dieta T+caseína necesitaron consumir 14.09g de alimento, por lo que esta dieta no es eficiente para que los animales incrementen de peso.

Tabla 16. Conversión alimenticia dieta teozintle¹

Rata	Dieta TT ¹	DietaTT+caseína ²	Dieta T ¹	Dieta T+ caseína ²
1	42.17	2.47	-4.35	20.93
2	-17.46	2.27	-2.91	
3	4.75	2.55	-3.38	8.72
4	4.25	3.06	-3.04	
5	3.71	2.59	-4.92	19.33
6	4.05	3.21	-14.07	7.37
Promedio ± DE	6.91 ±19.32	2.69 ±0.36	-5.45 ±4.30	14.09 ±7.03

1. Se calcula como el alimento ingerido acumulado/ el peso acumulado ganado de los animales al día 21 (en gramos)

2. Conversión alimenticia al día 7.

Dieta TT: referencia de caseína para teozintle

Dieta TT + caseína: referencia de caseína para maíz teozintle más caseína

Dieta T: harina de maíz teozintle

Dieta T + caseína: harina de maíz teozintle más caseína

Los valores individuales del peso de las ratas y el alimento que ingirieron se muestran en el Anexo 3.

En la dieta T se observa que la conversión alimenticia es negativa esto quiere decir que el incremento en peso es negativo (ver Anexo 3), por lo que dos de los animales al día 7 habían muerto. Lo que significa que esta dieta no es nada eficiente; a pesar de que su contenido de triptofano es alto (1078.39 mg/ 100g de proteína), pero como ya se menciona tiene un contenido alto de fibra (ver tabla 11), ocasionando un desequilibrio en el avance de los alimentos que pasan a lo largo del aparato digestivo, no permitiendo el aprovechamiento

RATA	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q
1	3.3	11.14	7.07	4.42
2	2.72	9.6	6.77	4.71
3	2.76	10.89	7.64	4.82
4	3.51	13.37	8.16	3.91
5	2.94	10.36	9.66	4.47
6	3.43	7.99	8	4.36
promedio	3.11 ±0.35	10.56 ±1.78	7.88 ±1.02	4.45 ±0.32

de nutrientes.

Tabla 17. Conversión alimenticia dieta híbridos y criollo¹

1. Se calcula como el alimento ingerido acumulado/ el peso acumulado ganado de los animales al día 21 (en gramos).

2. Los valores individuales del peso de las ratas y el alimento que ingirieron se muestran en el Anexo 3.

Dieta TM: dieta de caseína

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159

Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB

Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM

En la tabla 17 se observa los valores calculados de conversión alimenticia para las dietas de maíces híbridos y criollo. Se puede observar que la dieta de referencia de caseína es la que tuvo un valor muy bajo de conversión alimenticia siendo este valor de 3.11. Observamos que los animales que fueron sometidos a la dieta H tuvieron que consumir 10.56 gramos de alimento (más del doble de la dieta Q) en consecuencia hace a esta dieta la menos eficiente para que las ratas suban de peso.

Lo ideal es una conversión alimenticia pequeña, que indica una alta ganancia en peso con una baja ingesta de alimento. De acuerdo a lo anterior la dieta que presenta una menor conversión alimenticia es la dieta Q, por lo que esta dieta sería la ideal para subir de peso con una baja ingesta de alimento.

Relación de Eficiencia Proteica. (REP)

En la tabla 18 se presentan los valores de REP obtenidos de la relación de peso en gramos que aumentaron las ratas por cada gramo de proteína ingerida.

Para las dietas T y TT se adiciono en el séptimo día del bioensayo 6.9 g de caseína por cada 100 g de dieta, el REP para las dietas T y TT se obtienen considerando la adición de

caseína a partir del primer día del bioensayo hasta el día 21. Para la dieta T no se consideraron las pérdidas de peso de las dos ratas que murieron el día 7.

La mejor calidad proteínica fue encontrada en la dieta TM (control de caseína) con un valor de REP de 3.86 y el menor valor corresponde a la dieta H (1.52) y que está a su vez no presenta diferencia significativa con la dieta C (dieta de harina de maíz criollo B-175-XB 175), sin embargo la dieta Q (dieta de harina de maíz H-519 QPM) presenta una buena calidad ya que su valor de REP es de 2.82. Siendo por lo tanto la dieta de mejor calidad dentro de los maíces estudiados.

El bajo valor de REP de la dieta H (dieta de harina de maíz H-159) se puede deber a que, a pesar de ser un maíz híbrido su característica sobresaliente es que es tolerante al acame y presenta buena uniformidad (CEVAMEX, 2005), por lo que era de esperarse que los resultados no reflejaran una mejor calidad que el maíz criollo (maíz que no ha sido modificado), puesto que presentan un contenido similar de triptófano (ver tabla 13). Cabe mencionar que el híbrido en estudio fue modificado para aumentar la producción al introducir estas semillas híbridas (Delorit, 1982; Llanos, 1982).

Tabla 18. Valores de REP y REP ajustado (g).

RATA	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q	Dieta TT	Dieta T
1	3.47	1.41	1.97	2.82	2.86	-0.10
2	4.2	1.64	2.06	2.65	3.04	----
3	4.14	1.44	1.82	2.59	2.95	0.21
4	4.14	1.17	1.71	3.19	2.52	----
5	3.89	1.52	1.44	2.79	2.95	-0.9
6	3.33	1.96	1.74	2.86	2.41	0.68
Promedio	3.86 ±0.38	1.52 ±0.26	1.79 ±0.22	2.82 ±0.19	2.79 ±0.26	0.17 ±0.37
REPajustado	2.50	0.99	1.16	1.83	1.81	0.11

Los valores individuales de incremento en peso y alimento acumulado se muestran en el Anexo 4

Dieta TM: dieta de caseína

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159

Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB

Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM

Dieta T: dieta de harina de teozintle +caseína

Dieta TT: dieta referencia de caseína para harina de teozintle + caseína

La dieta Q fue la que presentó el valor alto de REP (2.82) contiene al maíz de alta calidad proteínica, este tipo de maíz presenta mayor concentración del aminoácido triptófano en comparación con el maíz criollo (dieta C) y el maíz H-159 (dieta H).

El maíz H-519 QPM utilizado para la elaboración de la dieta Q no tiene un contenido de triptófano próximo o igual a 1 % indicado en la literatura para ser un maíz de alta calidad proteínica

En cuanto al REP ajustado presentado en la tabla 18, se utiliza para expresar los valores de las proteínas de estudio en proporción a los obtenidos con la proteína caseína a fin de tener valores comparables.

La caseína es una proteína de buena calidad y de acuerdo a los valores de REP obtenidos, se presenta que el maíz H-519-QPM contiene proteínas de regular calidad.

Se observa que el valor de REP para la dieta TT es semejante al de la dieta Q, hay que considerar que la dieta TT tiene diferente contenido de nutrimentos. Al ser comparada con la dieta T esta presenta el mas bajo valor de REP a pesar de la adición de caseína, esto es debido a su alto contenido de fibra presente en la muestra.

CONCLUSIONES

- Ü Las variedades de maíces híbridos y el criollo presentan bajo contenido de cenizas y fibra, en comparación con el teozintle, este último tiene bajo contenido de grasa. Los maíces híbridos presentaron bajo contenido de grasa con respecto al maíz criollo siendo este el que presenta mayor contenido.
- Ü Es muy notable el bajo contenido de hidratos de carbono que presenta la muestra de teozintle con respecto a las variedades de maíces híbridos y criollo.
- Ü Los maíces H-58, H-151, H155 y H-161, a estas muestras no se les realizó un estudio de REP ya que el contenido de sus nutrientes son similares entre sí, indicando que estos maíces no son modificados por hibridación para aumentar su calidad nutricional, mas bien la modificación tiene fines en cuanto a su calidad de producción de cosecha.
- Ü El maíz H-159 presenta similar contenido de nutrientes con respecto al maíz B-175 XB (maíz criollo), H-159 presenta alto contenido de proteína con respecto a los maíces estudiados restantes y presenta diferencia estadísticamente significativa respecto al maíz criollo y teozintle, al realizar la determinación de triptófano este híbrido presenta un valor bajo y sin presentar diferencia estadísticamente significativa respecto al maíz criollo. Con respecto al valor de REP obtenido de la dieta elaborada con esta muestra, su valor se asemeja al del valor de REP obtenido con la dieta elaborada con el maíz híbrido. Indicando que el maíz H-159 **no** fue modificado por hibridación para tener mayor rendimiento de calidad proteínica, más bien fue modificado para fines de alto rendimiento de su cosecha.
- Ü El teozintle presenta alto contenido de triptofano en comparación con los maíces híbridos y criollo. A pesar de esto, la dieta elaborada con esta muestra, presenta los valores mas bajos de REP, debido a su bajo contenido de hidratos de carbono y grasas, así como su alto contenido de fibra, ocasionando una mala disponibilidad biológica y baja calidad proteínica.

- Ü Los híbridos H-S2 (maíz híbrido), H-519C QPM y H-553C QPM (los dos últimos corresponden al maíz híbrido de alta calidad proteínica), presentan un similar contenido de triptófano, Las muestras H-519C QPM y HS-2 no presentaron diferencia estadísticamente significativa en su contenido de proteína. En cuanto a su contenido de grasa la muestra HS-2 presento mayor contenido con respecto a las 2 muestras anteriores. Las tres muestras no presentan diferencia estadísticamente significativa en su contenido de fibras. En cuanto al contenido de hidratos de carbono las tres muestras tienen contenido similar.

- Ü La dieta elaborada con el híbrido H-519 QPM presenta el mayor valor de REP, comprobando que es el híbrido con mejor calidad de proteína, por lo que la hibridación se realizó con el fin de aumentar su calidad nutricional. Aunque este haya presentado un contenido de triptófano menor al 1 % (indicado en la literatura que los maíces QPM presentan un contenido promedio de triptófano mayor a 1%)

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar Castillo y Torres Pimentel. 2006. Ficha Tecnológica. MAÍZ HÍBRIDO DE MAÍZ H-519 C CON ALTA CALIDAD PROTEÍNICA: OPCIÓN PARA LA “MILPA” EN SUELOS ROJOS DE LA PENÍNSULA DE YUCATÁN. INIFAP. SAGARPA <http://www.inifap.gob.mx/> Fecha de consulta: 21/mayo/2007

Aldrich S. R. 1974. Producción moderna del maíz. Ediciones Hemisferio. Buenos Aires pp. 26-39

Alfaro Y., V. Segovia, M. Mireles, P. Monasterios, G. Alejos, M. Pérez. 2004. El maíz amarillo para la molienda húmeda. Revista Digital del centro Nacional de investigación Agropecuarias de Venezuela Num.6:13

Arteaga R. R y L. Tijerina CH. 1989. Aptitud agroclimática del área de Chapingo, México, con respecto al cultivo de maíz (*Zea mays* L.). Agrociencia. Área Agrometeorología. Núm. 78. pp. 297-299.

Boyer, C.D. and Shannon, J.C. 1987. Carbohydrates of the kernel. In S.A. Watson and P. E. Ramstad (eds). Corn : chemistry and technology, St Paul, Minn., EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem. pp. 253-272.

Bressani, R. 1990. Chemistry, technology and nutritive value of maize tortillas. (Food Rev. Int.) 6: 225-264.

Burge, R.M. y Duensing, W.J. 1989. Processing and dietary fiber ingredient applications of corn bran. (Cereal Foods World) 34: 535-538.

Celis A. H. 1982. Mejoramiento Poblacional. Presentación sobre metodología de la investigación en maíz. México. Campo experimental. Valle de México- Texcoco Chapingo. pp. 16-19

CEVAMEX 2005 Memoria Técnica, Día de Campo. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro de Investigación Regional del Centro. Campo Experimental del Valle de México. Chapingo, Edo. México, Septiembre del 2005. pp. 18-25

Cheftel, J.C.; Cuq, J.L.; Lorient, D.1989. “Proteínas Alimentarias”. Editorial Acribia. Zaragoza. pp. 115-124

David A.V. Dendy / Bogdan J. Dobraszczyk 2001. Cereales y productos derivados. Química y tecnología. Acribia, S.A. 1ª edición, Zaragoza, pp.93-394

Delorit R.J. 1982. Producción Agrícola. Editorial continental. S. A. C. V. México, D. F. pp. 100-115

- Ekboir, J., J.A. Espinosa, J.J. Espinoza, G. Moctezuma y A. Tapia. 2004. Análisis del sistema mexicano de investigación agropecuaria. México, D.F.: CIMMYT cuarta edición. Revista TECNOAGRO. pp. 12-15.
- Espinosa, C., A. Endogamia y Heterosis. 1982. Presentación sobre metodología de la investigación de maíz. México. Campo experimental Valle de México-Texcoco. Chapingo. pp. 20-22
- Espinosa, F. J. y J. Sarukhán, 1997. Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones. Universidad Nacional Autónoma de México y Fondo de Cultura Económica, México, D. F. pp. 189-195.
- Faeth R., J. C. 1998. Entresacamientos, una valiosa práctica para producir semillas puras. Seminario Internacional sobre tecnología de semillas para Centroamérica, Panamá y el Caribe. Venezuela, Julio 1998. pp. 19
- F.A.O.: Alimentación y Nutrición. 1993. El maíz en la nutrición humana, N°25 <http://www.fao.org> Fecha de consulta: 05 de septiembre del 2007
- Fennema, O. 1993. Química de Alimentos. Acribia segunda edición, Zaragoza, pp. 358-365
- Garduño V., J.L.2000. Apuntes de la materia Producción y Tecnología de semillas, semestre 2000-II. UNAM, FESC Cuauhtlan, Ingeniería Agrícola (Sin editorial). pp. 21 y 22
- González Alquinzones, Ubaldo. 1995. "El Maíz y su conservación". Editorial Trillas. D.F. México pp 13-15, 20 y 21, 31-43
- Herlich K., A. O. A. C. 1990. Official Methods of Analysis of Association of official Analytical Chemist, 15th edition, Vol II. Arlington pp.17, 42, 46, 69.70.79, 80.
- Howe, E.E., Janson, G.R. y Gilfillan, E.W. 1965. Amino acid supplementation of cereal grains as relatad to the world food supply. (Am. J. Clin. Nutr.)16: 31-33.
- Lucas, B.; Sotelo, A. 1980. Effect of different alkalies, temperature and hydrolysis times on triptophan determination of pure proteins and of foods. Analytical Biochemistry, 109:192-197
- Llanos M., 1984. El maíz (su cultivo y aprovechamiento) Edición mundi-prensa. Madrid. pp. 318

Martínez M. R., 1994. Capacidad Productiva de Híbridos Trilineales Experimentales de Maíz (*Zea mays*) Pumas En Valles Altos. Tesis de Licenciatura. UNAM. Cuautitlán Izcalli, Edo. de México. pp. 12-17

M Mendoza-Elos , E Andrio-Enríquez, JM Juarez-Goiz. 2006. Contenido de Lisina y Triptofano en Genotipos de Maíz de Alta Calidad Proteica y Normal. Celaya, Guanajuato. México. Enero 2006.pp 158.

Mendoza R., M. 1982. Mejoramiento Genético del maíz. Presentación sobre metodología de la investigación en maíz. México. Campo experimental Valle de México-Texcoco. Chapingo. pp.14 y 15

Milton P. J., 1986. Mejoramiento Genético de las cosechas. Editorial Limusa. México, D. F. pp. 270 -281.

Oropeza E., Ortiz L.B. 1989. Evaluación nutricional de la proteína del grano de seis cultivares de maíz (*Zea mays L.*). Instituto de Química y Tecnología Fac. Agronomía. U.C.V. Maracay -2101-Aragua – Venezuela Publicación el 6-12, (15):225-234

Orr, M.L. y Walt, B.K. 1957. Amino acid content of foods. Home Economics Research Report No. 4. Washington, D.C., Dept. Agric. de los Estados Unidos. pp. 88

Ortega y Vasal Programa de Maíz. 1999. Desarrollo, Mantenimiento y Multiplicación de semillas de variedad de Maíz de Polinización. Segunda edición. México, D.F.: CIMMYT

Osborne TB, Mendel LB, Ferry EL 1919 A method of expressing numerically the growth promoting value proteins. *J. Biol. Chem.* 37: 223-229.

Patterson, J.I., Brown, R.R., Linkswiler, H. y Harper, A.E. 1980, Excretion of tryptophan- niacin metabolites by young men: effects of tryptophan, leucina and vitamin B6 intakes. *Am. J. Clin. Nutr.* 33; 2157-2167.

Peña O., M. G. y J. L. Rodríguez o. 1988. Caracterización y selección de líneas precoces de maíz por mínima duración de etapas fenológicas. *Agrociencia. Área Mejoramiento Genético.* Núm 74. pp. 89-91

Poehlman, J. M. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. Versión española de Nicolás Sánchez D. Ed. Limusa. México D. F. pp. 72-73, 263-270

Reyes C. P., 1990. El maíz y su cultivo. AGT, editor S.A. México D.F. pp. 64-72, 144-148

Robert Bartolon. 1990. “El maíz” Agroguías. Ed. mundi-Prensa segunda edición. Madrid. pp 65-78.

- Robert W. Juguenheimer, Ph. D. 1981. Maíz variedades mejoradas, Método de cultivo y producción de semillas. Editorial Limusa. México. Primera edición pp: 52-62
- Tadeo R. M. A. y Espinosa C. A., R. 2004. Producción y Tecnología de semillas. Universidad Autónoma de México. FES-C. pp. 4,40-53, 68-70
- Tadeo R. M., A. Espinosa C., P. Sánchez P., G. Torres E., 2004 b. Rendimiento de Forrajes de híbridos experimentales puma e híbridos comerciales de maíz para valles altos. En: Revista FESC Divulgación científica multidisciplinaria. Año 4 (13); pp.5-12.
- Tadeo R. M., A. Espinosa C., R. Martínez M., R. Arias R., D. Salazar H., L. Rodríguez I. 2005. Nuevas variedades de maíz de grano amarillo para valles altos de México generadas en la UNAM. Agrosíntesis. Marzo 2005. pp. 17-21
- Tadeo R. M., A. Espinosa C.A., R. Arias R. 2004 a. Producción de semillas y difusión de variedades e híbridos de maíz de grano amarillo para valles altos. En: Revista FESC Divulgación Científica Multidisciplinaria. Año 4 (14): pp.5-10
- Turrent F. y Espinosa C. 2000. Periodismo de Ciencia y Tecnología. México Cultiva Maíz de Alto contenido proteínico. <http://www.invdes.com.mx/antiores/Septiembre2000/htm/maiz.html> Fecha de consulta: 05 de septiembre del 2007
- Virgen V., J. A. Carballo C., F. Castillo G. 1992. Caracterización de genotipos de maíz y su utilidad en el mantenimiento varietal. Agrociencia serie Fitociencia.. 3. (2) 39-42
- Watson, S.A. 1987. Structure and composition. En S.A. Watson y P.E. Ramstad. eds. Corn: chemistry and technology, p St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem. 53-82.
- Weber, E.J.1987. Lipids of the kernel. En S.A. Watson y P.E. Ramstad, eds. Corn. chemistry and technology,. St Paul, EE.UU., Am. Assoc. Cereal Chem. 311 –349
- Wilkes, H.G. 1972. Maiz and its wild relatives. Science. 177:1071-1077.
- Yust, M.; Predroche, J.; Giron-Calle, J.; Vioque, J.; Millán, F.; Alaiz, M. 2004. Determination of triptophan by high performance liquid chromatography of alkaline hydrolysates with spectrometric detection Analytical Nutritional and Clinical Methods Section. (Food Chemistry), 85. 317-320

ANEXO 1 ANÁLISIS PROXIMAL

MATERIALES Y MÉTODOS

Determinación de humedad analítica. AOAC^{1990:934.01}

✓ *Material:*

- Estufa de vacío (Lab-Line Duo Vac Oven Mod. 3620)
- Balanza analítica (Sartorius Analythic)
- Desecador de vidrio
- Charolas de aluminio

Procedimiento:

Las charolas de aluminio se colocan en la estufa de vacío hasta que alcanzan un peso constante el cual fue registrado. Posteriormente se pesan de 2 a 5 g de muestra y se introducen en la estufa de vacío la cual mantuvo las siguientes condiciones: Presión no menor a 15 mm de Hg y una temperatura de 60-65°C, por aproximadamente 96 horas.

Se realizan pesadas periódicas de las charolas durante el tiempo que permanecieron en la estufa de vacío; sacándolas de la estufa y colocándolas inmediatamente en un desecador de vidrio donde pertenecían 30 minutos; después de este tiempo se pesan en una balanza analítica. Este procedimiento se realizó hasta que alcanzo peso constante, el cual fue registrado.

La determinación se realizó por triplicado.

Cálculos

$$\%H = \frac{(P_0 - P_1)}{(m)} \times 100$$

P₀= Peso de la charola de aluminio + muestra (en gramos)

P₁= Peso de la charola de aluminio + muestra después de secar (en gramos)

m = Peso de la muestra (en gramos).

Determinación de grasa cruda. AOAC^{1990:920.39}✓ *Material y reactivos:*

- Aparato de extracción Goldfish, (LABCONCO Mod35001-00CV)
- Porta dedales de vidrio
- Anillos metálicos para extracción de Goldfish
- Cartuchos de celulosa de 22 X 80 mm
- Vasos de borde esmerilado (LABCONCO)
- Balanza analítica (Sartorius Analythic)
- Bomba de recirculación (little Grant puma Mod. 1)
- Desecador de vidrio
- Estufa de vacío (LAB-LINE Duo Vac Oven Mod. 3620)
- Éter de petróleo

✓ *Procedimiento:*

Los vasos esmerilados se colocan en la estufa de vacío hasta que alcanzan peso constante el que fue registrado.

En los cartuchos de celulosa se colocaron de 2 a 5 g de muestra, posteriormente los cartuchos se introdujeron en los porta dedales de vidrio y se colocaron en el compartimiento de extracción de Goldfish.

En los vasos esmerilados se colocaron aproximadamente 40 ml de éter de petróleo y con ayuda del anillo metálico se colocaron en el aparato de extracción, el cual estaba conectado a una bomba de recirculación de agua helada.

Para calentar, se sube la parrilla hasta que este en contacto con el vaso, se coloca el control de calentamiento en LOW (bajo). El periodo de calentamiento es de 2 horas. Después de este tiempo se bajaron las parrillas de calentamiento, se sacan los porta dedales y se sustituyeron por los tubos recuperadores de disolvente, se volvieron a colocar los vasos esmerilados y se subieron suavemente las parrillas para iniciar el calentamiento. Cuando los vasos se encontraron casi libres de disolventes, fueron retirados del equipo y colocados en la campana de extracción, asegurando la completa evaporación del disolvente. Posteriormente se colocan en la estufa de vacío hasta alcanzar peso constante, el cual fue registrado.

La determinación se realizo por triplicado.

Cálculos

$$\% \text{Grasa} = \frac{P_1 - P_0}{m} \times 100$$

P₀= Peso del vaso esmerilizado con la muestra después de la extracción (en gramos)

P₁= Peso del vaso esmerilizado (en gramos)

m = Peso de la muestra (en gramos)

Determinación de Proteína cruda. AOAC^{1990:955.04}**✓ Material y reactivos:**

- Digestor (TECATOR, mod. Ab20/40)
- Balanza analítica (Sartorius Analythic)
- Equipo de micro destilación (Kjeltec Auto analyzer Tecator Mod 1030)
- Tubos de digestión TECATOR de 75 ml (Tecator)
- Mezcla digestiva (a)
- Peroxido de hidrogeno al 30%
- Sulfato de potasio (R.A.)
- Solución de NaOH al 40 % (p/v)
- Solución de ácido bórico con indicador (b)
- Solución de HCL 0.01N valorada

Preparación de solución (a)

Disolver 3 g de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) en 20 mL de agua destilada; a continuación se agrega 50 mL de ácido ortofosfórico (H_3PO_4) y una vez que esta bien disuelta, se adiciona con mucho cuidado y resbalando por la pared del recipiente 430 mL de ácido sulfúrico concentrado.

Esta mezcla se deja agitar por aproximadamente 30 min.

Preparación de solución de ácido bórico con indicador (b):

Se pesa 10 g de ácido bórico y se coloca en un matraz aforado de 1 L; se adiciona agua destilada hasta disolver, se agrega 10 mL del indicador B (100 mg de verde de bromocresol, disuelto en 100 mL de metanol) y 7 ml de rojo de metilo (100 mg en 100 ml de metanol). Se ajusta el color a un tono café rojizo con ácido o álcali según se requiera y se afora a 1 litro con agua destilada.

Procedimiento:

Pesar de 90-100 mg de muestra seca, se depositan en el tubo de digestión, se le agrega aproximadamente 0.5 g de K_2SO_4 y 3 mL de mezcla de digestión; se colocan los tubos en el digestor por espacio de 15 minutos a 340°C , se sacan del digestor, se deja enfriar y se coloca 1.5 mL de H_2O_2 al 30 % y nuevamente se colocan en el digestor que se encuentra 370°C . Se considera que la digestión esta realizada cuando el tubo no presenta manchas o puntos negros, la mezcla debe estar transparente.

Una vez efectuada la digestión se deja enfriar y se lleva acabo la destilación en el destilador Kjeltec. El cual registrara el volumen de ácido bórico gastado para neutralizar nuestra mezcla.

La determinación se realizo por triplicado.

Cálculos

Para realizar los cálculos es conveniente correr un blanco, trabajándose en la misma forma

$$\% N_2 = \frac{P - B \times N \times meq}{m} \times 100$$

$$\% \text{Proteína} = \% N_2 \times F$$

P = mL de la titulación de la muestra

B = mL de la titulación del blanco.

N = normalidad de la solución de HCl

meq = miliequivalentes de nitrógeno (0.014)

m = Peso de la muestra (en gramos)

F = factor de conversión (6.25)

Determinación de cenizas. AOAC^{1990:942.05}

✓ *Material y reactivos:*

- Mufla (THERMOLYNE, mod. 1500)
- Balanza analítica (Sartorius Analythic)
- Mechero Bunsen
- Desecador de vidrio
- Crisoles de porcelana

✓ *Procedimiento:*

Colocar los crisoles a una temperatura de 500°C hasta peso constante, el cual se registra. Posteriormente se pesa de 2 a 5 g de muestra. Se carboniza la muestra sobre la llama hasta que ya no se produzcan humo, realizándose en la campana, posteriormente se coloca en crisol con la muestra calcinada en la mufla a 500 °C, por un tiempo de 16 horas aproximadamente, se sacan los crisoles de la mufla, se colocan en un desecador durante 30 minutos y se pesan en la balanza analítica. Posteriormente se volvieron a introducir en la mufla y se realizaron pesadas periódicas de los crisoles hasta alcanzar un peso constante, el cual se registro.

La determinación se realizo por triplicado.

Cálculos

$$\% \text{CENIZAS} = \frac{P_1 - P_0}{m} \times 100$$

P₁ = Peso del crisol con la muestra después de incinerar (en gramos)

P₀ = Peso del crisol a peso constante (en gramos)

m = Peso de la muestra (en gramos)

Determinación de Fibra cruda. AOAC^{1990:962.09}**✓ Material y reactivos:**

- Vasos de Berzelius de 600 ml (KIMAX)
- Aparato de digestión, (LABCONCO)
- Estufa de vacío ((LAB-LINE Duo Vac Oven Mod. 3620)
- mufla (THERMOLYNE, mod. 1500)
- Balanza analítica (Sartorius Analythic)
- Crisoles de porcelana
- Matraces de vidrio Kitasato (KIMAX)
- Embudos Buchner con alargadera
- Silicato de aluminio
- Filtro de lino o papel Whatman # 40
- Solución de H₂SO₄ al 1.25 % (m/v)
- Solución de NaOH al 1.25 % (m/v)
- Antiespumantes (emulsión SIGMA-B)
- Alcohol etílico

✓ Procedimiento:

Se pesa de 3-5 g de muestra desengrasada sobre un vaso de Berzelius que contenga 0.5 g de silicato de aluminio (limpio y calcinado) y unas perlas de vidrio. A continuación se adiciona 200 ml de H₂SO₄ al 1.25 % hirviendo, y unas gotas de antiespumante e inmediatamente se coloca en el aparato de digestión, el cual debe estar previamente caliente; se deja digerir por 30 minutos. Exactos. Después de dicho periodo se vacía el contenido sobre un buchner con filtro de lino y se realiza la filtración con ayuda de vacío; se lava el residuo con agua destilada caliente, hasta eliminar el ácido.

Una vez lavado el residuo se transfiere nuevamente al vaso de Berzelius, se adiciona unas gotas de antiespumante y 200 ml de NaOH al 1.25 % que este hirviendo y se mantiene en el aparato de digestión por exactamente 30 minutos, Transcurrido el tiempo se vacía nuevamente al filtro de lino y se filtra, se lava el residuo con agua caliente, hasta eliminar el álcali, quitar las perlas de vidrio lavándolas con agua para recuperar el material adherido. Por ultimo se adiciona al residuo 25 ml alcohol etílico.

El residuo se pasa a un crisol de porcelana (a peso constante) cuidado, pasarlo en forma cuantitativa. Se coloca en la estufa de vacío para su secado, posteriormente se pesa. A continuación se carboniza y se introduce en la mufla para su incineración, por ultimo se pesa nuevamente el crisol.

Cálculos

La muestra con la que se trabajo es a la que se le determino humedad y grasa, por lo cual el peso de la muestra, será el referido al peso inicial previo de las anteriores determinaciones.

$$\% \text{Fibra} = \frac{P_1 - P_0}{m} \times 100$$

P_s = Peso del crisol con residuo después de secado (en gramos)

P_c = Peso del crisol con residuo después de calcinar (en gramos)

m = Peso de la muestra (en gramos)

Determinación de hidratos de carbono

El porcentaje de hidratos de carbono se calculo por diferencia, restando al 100 % la suma de los porcentajes de humedad, grasa cruda, proteína cruda, cenizas y fibra.

Cálculos

$$HCD \equiv 100 - (\% \text{humedad} + \% \text{grasacruda} + \% \text{Proteína} + \% \text{fibracruda} + \% \text{cenizas})$$

Determinación de Triptofano por cromatografía de líquidos de alta resolución (HPLC). (Lucas,1980; Yust,2004)

✓ Material y reactivos:

- Balanza analítica (Sartorius Analythic)
- Digestor (TECATOR, mod. Ab20/40)
- Tubos de vidrio con tapón de rosca de teflón (KIMAX)
- Potenciómetro (CORNING, mod 10)
- Embudos de filtración rápida
- Embudo de kitasato
- Agitador magnético
- Matraz Buchner
- Termómetro
- Vórtex (Lab –Line mod. 1290 super mixer)
- Sistema HPLC
- Solución estándar de triptofano (0.51 mg/mL). (Se pesa 12.75 mg de triptofano, se disuelve y se afora a un volumen de 25 mL con buffer de boratos pH 9)
- Buffer de boratos de sodio 0.06 N (pH 9). (Se pesan 6 g de boratos de sodio los cuales se disolvieron en 80 mL de agua desionizada caliente, para después ajustar el pH a 9 y aforar a 100 mL)
- Ácido clorhídrico 12 N
- Hidróxido de Litio 4 N
- Agua desionizada
- Nitrógeno gaseoso de alta pureza

✓ Análisis cromatográfico

- Sistema de entrega de disolventes (WATERS mod. 510)
- Inyector con loop de 20 μ L (Rheodyne)
- Detector UV-Vis mod. 486 Waters, WATERS
- Jeringa para HPLC de 25 μ L (Hamilton)
- Columna MILLENNIUM 32 PROGRAM A 300 x 3.5 mm I.D. Nova-Pack C₁₈ 4 μ m (Waters)
- Acetonitrilo grado HPLC
- Buffer de acetato de sodio 25 mM pH 6 (Se pesaron 3.402 g de CH₃COONa 3H₂O, se disolvieron en agua desionizada y se ajusto el pH a 6. Posteriormente se llevo a un volumen de 1 L con agua desionizada previamente filtrada a través de una membrana de 0.45 micras, con ayuda de vacío. (Esta solución amortiguadora se filtro dos veces)

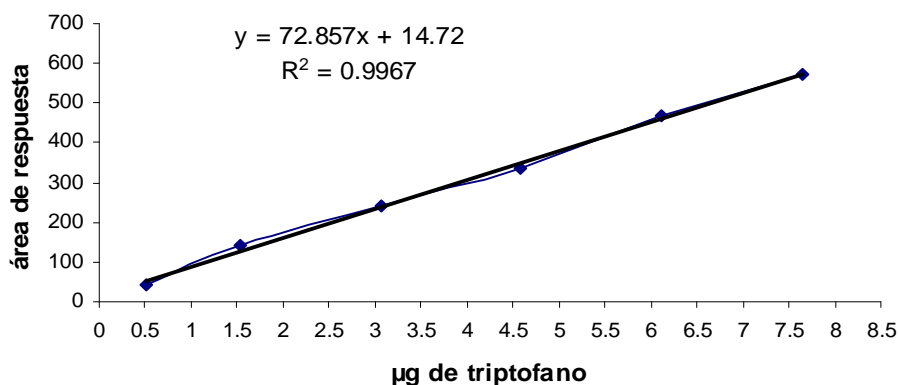
✓ Elaboración de la curva estándar

Se hizo una curva estándar a partir de una solución estándar de triptofano de 0.51 μ g/mL. Para ello se midieron 10, 30, 60, 90, 120 y 150 μ L y cada uno de ellos se llevó a un volumen de 10 mL con buffer de boratos 0.06N (pH 9). Cada punto de la curva se inyectó por triplicado.

Datos de respuesta

μ L de triptofano	μ g de triptofano	área de respuesta
10	0.51	41.8368
30	1.53	142.1207
60	3.06	239.493
90	4.59	333.9563
120	6.12	468.61
150	7.65	571.534

Curva estándar de triptofano



✓ *Hidrólisis*

Se pesa 0.2 g de muestra desengrasada dentro de un tubo de hidrólisis, se le adicionaron 6 mL de LiOH 4 N procurando que la muestra quedara humedecida con el álcali antes de iniciar la hidrólisis. Los tubos se insuflaron con nitrógeno de alta pureza y posteriormente se llevo a cabo la hidrólisis por 6 horas manteniendo la temperatura en 100 °C.

Una vez transcurrido el tiempo, los hidrolizados se neutralizaron con HCl 12 N, hasta pH 7 y se aforan a 25 mL con buffer de borato de sodio 0.06N. Finalmente los hidrolizados fueron filtrados en un filtro Millipore de 0.45µm.

ANÁLISIS CROMATOGRÁFICO

✓ *Preparación de la fase móvil:*

Buffer de acetatos-ácido fosfórico (fase A), pH 5.02±0.02

Se diluye 100 mL de concentrado A (AccQ Tag concentrado A) hasta 1000 mL con agua purificada utilizando un matraz volumétrico de 1000 mL. Se hizo pasar toda la fase a través de un sistema de filtración a vacío con un filtro de tamaño de poro de 0.45 µm tipo HA. La fase preparada se almacenó en refrigeración conservándose hasta por un mes, filtrándole y desgasificándole con ácido fosfórico concentrado o hidróxido de sodio 5 N, cuando fue necesario.

Acetonitrilo: agua 60:40 (fase B)

En una probeta de 1000 mL se vertieron 600 mL de acetonitrilo grado HPLC y se añadieron 350 mL de agua purificada. Se ajustó a 1000 mL con agua purificada, se filtró y desgasificó la fase B de la misma forma que la A pero empleando un filtro de tamaño de poro de 0.22 µm tipo GV. Se almacenó en refrigeración para conservar su composición durante una semana, volviendo a filtrar y desgasificar al momento de emplearla.

✓ *Acondicionamiento del equipo:*

Se encendió el equipo (computadora, bombas, desgasificador y detector, en ese orden), después de asegurar que había suficiente fase A y B para cada una de las bombas y que la columna se encontraba conectada en la dirección adecuada. El acondicionamiento del equipo se programó en la computadora como sigue:

Acondicionamiento del equipo			
Tiempo (min)	% fase A	% fase B	Flujo (mL/min)
Inicio	0	100	0
5	0	100	1
40	0	100	1
45	100	0	1
60	100	0	1
65	100	0	0

El detector se programó a 280 nm de longitud de onda, ajustada a cero antes del tiempo en que empezara a fluir la fase A (amortiguador) pues de lo contrario, en el desarrollo del gradiente, de la línea base caería por debajo de cero al irse enriqueciendo con acetonitrilo al 60%, de modo que la computadora no podría establecer la línea base para la integración de cada uno de los picos.

✓ *Muestra:*

Se inyectaron 20 µL de muestra hidrolizada en el cromatógrafo, manteniendo la temperatura de la columna a 18 °C. Se utiliza un sistema isocrático con una fase móvil de buffer de acetato de sodio 25mM y acetonitrilo en una proporción de 97:3 a un flujo de 1 mL/ min. La lectura se hizo a 280nm con un detector UV.

✓ *Cálculos*

El valor interpolado en la curva estándar está dado en µg de triptofano por lo que se debió tomar en cuenta el aforo, el peso de la muestra y el porcentaje de proteína de la muestra para expresarla en gramos de triptofano por 100 g de proteína (o 16 g de nitrógeno)

$$\text{mg Trip}/100\text{g proteína} = \frac{A \times 25 \times B}{P_m \times C \times 10}$$

Donde:

A = µg Trp / mL interpolado en la curva

25 = volumen de aforo (mL)

B = gramos de sólidos no grasos en 100 g de muestra

C = gramos de proteína verdadera en 100 g de muestra

P_m = peso de la muestra (g)

10 = factor de conversión a mg

ANEXO 2 ENSAYO BIOLÓGICO

✓ *Materiales y reactivos*

Mezcladora mecánica HOBART Mod. N-50
Recipiente de plástico de 5 L de capacidad
Balanza
Cucharas
Caseína (de leche bovina SIGMA C-3400)
Glucosa (grado técnico)
Dextrina (grado técnico)
Sacarosa (grado técnico)
Aceite de maíz (comercial)
Manteca Vegetal (comercial)
Mezcla de sales (ICN Pharmaceuticales No.Cat.170760)
Mezcla de vitaminas (ICN Pharmaceuticales No.Cat.904654)
Celulosa en polvo (grado técnico)
10 diferentes tipos de harina de maíz (8 híbridos: H-y teozintle)

✓ *Procedimiento:*

La fuente de proteína se homogeniza en la mezcladora junto con todos los ingredientes sólidos excepto las vitaminas, posteriormente se le adiciona la mezcla de lípidos (aceites y manteca fundida) y por último la mezcla de vitaminas. Las dietas se almacenaron en recipientes de plástico y en refrigeración durante todo el estudio.

EVALUACIÓN BIOLÓGICA REP

✓ *Materiales:*

Balanza para pesar animales de laboratorio.
Balanza granataría de un platillo
Comederos para ratas
Bebedero con sujetador
Jaulas individuales para ratas
Ratas machos recién destetados, cepa Sprague Dowley (20-23 días)
Dietas de ensayo

✓ *Procedimiento:*

Se emplearon 36 ratas machos de cepas Sprague Dowley de 20 a 23 días con peso inicial de $37.42 \text{ g} \pm 3.26 \text{ g}$. Al inicio del ensayo se pesaron las ratas de forma individual que corresponden al peso inicial (Pi). Se iniciaron seis lotes de seis ratas cada uno y los animales se distribuyeron por el método de "culebra japonesa", en el cual se ordenan de forma ascendente o descendente los pesos iniciales de las ratas y se distribuyen en los

diferentes lotes de manera zigzagueante. La diferencia en el peso promedio entre los lotes fue menor a 1 g

Cada rata se alojó en una jaula con piso de rejillas (debajo de esta se colocó una charola de papel para recuperar el alimento desperdiciado y así obtener el peso del alimento que fue ingerido por el animal) y se mantuvieron en ciclos de luz-oscuridad de 12 horas a una temperatura aproximada de 23 °C. Se registró el peso de los animales y el alimento ingerido tres veces por semana, siendo la última pesada el día 21 que corresponde al peso final del animal (Pf).

✓ *Cálculos:*

El coeficiente REP se expresa como el peso en gramos ganados por las ratas en cada gramo de proteína consumida. Se calcula el REP para cada una de las ratas con la siguiente fórmula:

$$\text{REP} = \frac{\Delta P}{\sum AI \times P}$$

Donde:

ΔP = incremento de peso en gramos

$\sum AI$ = alimento total ingerido en gramos.

P = % de proteína en la dieta /100

Como cada uno de los valores individuales, se les calculó el REP promedio de cada lote en estudio, el coeficiente de variación (C.V.) debe ser menor al 15 %.

$$\text{C.V.} = \frac{\text{Desviación es tan dar}}{\text{REP promedio}} \times 100$$

Para que se puedan comprobar los resultados se calcularon los valores de REP ajustado, tomando como referencia el valor de 2.5 para la dieta de caseína.

$$\text{REP ajustado} = \text{REP}_{(\text{dieta en estudio})} \times \frac{\text{REP caseína (referencia)}}{\text{REP caseína (experimental)}}$$

Donde:

$$\text{REP caseína (referencia)} = 2.5$$

Además del REP se calculó la conversión alimenticia, dividiendo los gramos del alimento ingerido entre el peso del animal en el último día de ensayo (día 21). Y se

elaboro la curva de crecimiento (promedio del incremento de peso acumulado vs el tiempo de experimentación), el cual se trazo el rango de variación de la ordenada como el error estándar de la media, que se calculo de la siguiente manera:

$$ESM = \frac{\sigma}{(n-1)^{1/2}}$$

Donde:

σ = desviación estándar

n = número de datos de la muestra.

Tabla de composición química de las variedades de maíces empleados para elaboración de dietas (g/100g de muestra húmeda)*

Maíz	Humedad	Proteína	Grasa	Cenizas	Fibra	Hidratos de carbono
H-159	9.39 ±0.06 ^f	10.32 ±0.15 ^g	4.51 ±0.08 ^d	1.39 ±0.02 ^{d,e}	2.20 ±0.07 ^{c,d}	72.19
B-175X	9.44 ±0.10 ^f	9.36 ±0.06 ^e	5.56 ±0.09 ^g	1.17 ±0.02 ^a	2.33 ±0.088 ^d	72.15
H-519C QPM	7.41 ±0.16 ^c	7.88 ±0.10 ^c	4.74 ±0.22 ^e	1.23 ±0.01 ^{a,b}	2.04 ±0.05 ^{b,c,d}	76.70
Teozintle	6.74 ±0.06 ^a	7.49 ±0.09 ^b	0.94 ±0.01 ^a	3.85 ±0.14 ^f	25.34 ±0.68 ^e	55.64

*Coeficiente de variación <5%. Los resultados expresan promedio ±desv.est. de un triplicado.

Diferentes letras dentro de la misma columna indican diferencia estadísticamente significativas (p= 0.05)

**Hidratos de carbono calculados por diferencia

ANEXO 3

DATOS DEL ENSAYO BIOLÓGICO

Peso inicial de los animales PI (g)

Rata	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q	Dieta TT	Dieta T
1	32.9	33.5	34	34.3	32.8	33.4
2	34.9	34.5	34.4	34.4	35.5	34.9
3	36.1	36.9	36.9	36.9	36	36.4
4	37.7	37	36.9	36.9	38.5	37.7
5	38.9	39.4	39.8	40.7	38.7	39.1
6	45.6	41.6	41.5	40.9	45.6	41.9
Promedio	37.683	37.150	37.250	37.350	37.850	37.233
DE	4.411	3.010	2.949	2.906	4.374	3.043

Dieta TM: dieta de caseína

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159

Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB 175

Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM

Dieta TT: dieta testigo del teozintle

Dieta T: dieta de harina de teozintle

Peso final de los animales, Pf (g)

Rata	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q
1	84.5	43.4	52.7	75.2
2	109.7	46.7	54.6	70.5
3	107.4	49.1	57.4	74.9
4	96.7	45.9	53.8	95.6
5	115.2	49.4	52.8	87.3
6	106.8	55.3	61.3	97.9
Promedio	103.383	48.300	55.433	83.567
DE	11.033	4.079	3.348	11.662

Dieta TM: dieta de caseína

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159

Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB 175

Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM

Incremento de peso (ΔP) de los animales en el día 21 (g)

Rata	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q
1	51.6	9.9	18.7	40.9
2	74.8	12.2	20.2	36.1
3	71.3	12.2	20.5	38
4	59	8.9	16.9	58.7
5	76.3	10	13	46.6
6	61.2	13.7	19.8	57
Promedio	65.700	11.150	18.183	46.217
DE	9.904	1.825	2.858	9.699

Dieta TM: dieta de caseína

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159

Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB 175

Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM

Alimento ingerido acumulado en el día 21, Σ AI (g)

Rata	Dieta TM	Dieta H	Dieta C	Dieta Q
1	170.1	110.3	132.3	180.9
2	203.4	117.1	136.8	170
3	196.9	132.9	156.7	183.2
4	207.2	119	137.9	229.8
5	224.4	103.6	125.6	208.3
6	209.9	109.5	158.4	248.8
Promedio	201.983	115.400	141.283	203.500
DE	18.093	10.219	13.333	31.022

Dieta TM: dieta de caseína

Dieta H: dieta de harina de maíz H-159

Dieta C: dieta de harina de maíz criollo B-175XB 175

Dieta Q: dieta de harina de maíz H-519 QPM

Peso final de los animales, Pf (g)

Rata	Dieta TT ¹	Dieta TT+ caseína ²	Dieta T ¹	Dieta T+ caseína ²
1	33.4	97.9	28	32.1
2	34.2	100.3	26.8	
3	42.8	110.7	29.1	39.3
4	47.2	104.9	30.7	
5	49.9	114.8	33.2	37.8
6	57.2	109.2	38.9	54.7
Promedio	44.12	106.30	31.12	40.98
DE	9.26	6.46	4.42	9.66

1. Peso final de las animales al día 7

2. Peso final de los animales al día 21

Dieta TT: dieta testigo del teozintle

Dieta T: dieta de harina de teozintle

Dieta TT+ caseína: dietat testigo más caseína

Dieta T + caseína: harina de teozintle más caseína.

Incremento de peso (Δ P) de los animales (g).

Rata	Dieta TT ¹	Dieta TT+ caseína ²	Dieta T ¹	Dieta T+ caseína ²
1	0.6	64.5	-5.4	4.1
2	-1.3	66.1	-8.1	
3	6.8	67.9	-7.3	10.2
4	8.7	57.7	-7	
5	11.2	64.9	-5.9	4.6
6	11.6	52	-3	15.8
Promedio	6.27	62.18	-6.12	
DE	4.97	5.55	1.81	8.68

1. Incremento en peso final de los animales al día 7.

2. Incremento en peso final de los animales al día 21

Dieta TT: dieta testigo del teozintle

Dieta T: dieta de harina de teozintle

Dieta TT+ caseína: dietat testigo más caseína

Dieta T + caseína: harina de teozintle más caseína.

Alimento ingerido acumulado, Σ AI (g)				
Rata	Dieta TT ¹	Dieta TT+ caseína	Dieta T ¹	Dieta T+ caseína ²
1	25.3	159.3	23.5	85.8
2	22.7	150.3	23.6	
3	32.3	173	24.7	88.9
4	37	176.6	21.3	
5	41.6	167.9	29	88.9
6	47	166.8	42.2	116.5
Promedio	34.32	165.65	27.38	
DE	8.58	8.72	7.69	95.03

1. Alimento ingerido acumulado al día 7

2. Alimento ingerido acumulado al día 21

Dieta TT: dieta testigo del teozintle

Dieta T: dieta de harina de teozintle

Dieta TT+ caseína: dietat testigo más caseína

Dieta T + caseína: harina de teozintle más caseína