

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO
NARRO”**

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO



**Determinación de ácidos grasos (oleico y linoleico) en siete
diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.)**

Por:

JUAN CARLOS PÉREZ PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título profesional
de:

INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Buenvista, Saltillo, Coahuila, México.

Marzo de 2012.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DEL SUELO

Determinación de ácidos grasos (oleico y linoleico) en siete diferentes genotipos de maíz (*Zea mays* L.)

Presentada por:

JUAN CARLOS PÉREZ PÉREZ

TESIS

Que somete a consideración del H. Jurado examinador como requisito parcial para obtener el título de:

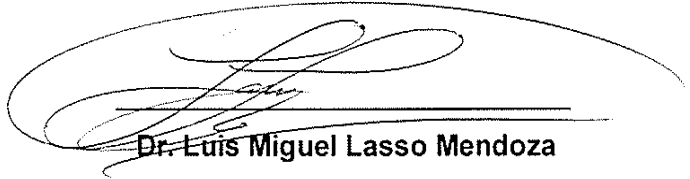
INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL

Aprobada



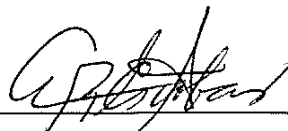
Dr. José Espinoza Velázquez

Asesor principal



Dr. Luis Miguel Lasso Mendoza

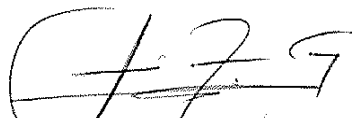
Sinodal



M.C. Alejandra Rosario Escobar Sánchez

Sinodal

**Universidad Autónoma Agraria
"ANTONIO NARRO"**



M.C. Luis Rodríguez Gutiérrez



Coordinador de la División de Ingeniería
Coordinación de Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Marzo 2012

AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por haberme dado la sabiduría y el entendimiento para poder llegar al final de mi carrera profesional, por proveerme de todo lo necesario para salir adelante y por todo lo que me ha dado.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, por haberme brindado la oportunidad de realizar mis estudios, por formarme como profesionalista y superarme como persona.

Al **Dr. José Espinoza Velázquez** por su amistad, por su confianza, por sus enseñanzas, por dedicar parte de su tiempo para brindarme su apoyo y asesoramiento para la realización de este trabajo de investigación.

Al **Dr. Luis Miguel Lasso Mendoza**, por la amistad y confianza que me brindo durante toda mi carrera, por su apoyo incondicional y por compartir conmigo parte de sus conocimientos y experiencias.

A la **M.C. Alejandra del Rosario Escobar Sánchez**, por su amistad, por el apoyo que siempre me brindo, por sus enseñanzas y por compartir parte de sus conocimientos.

Al **T.A. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel**, encargado del Laboratorio de Nutrición Animal, por su apoyo brindado en la determinación de grasa cruda, y ácidos grasos, pero sobre todo por su amistad brindada.

A la **T.A. Beatriz Jaimes Gil**, encargada del Laboratorio de Genética del departamento de Fitomejoramiento, por el apoyo que me brindo prestándome los materiales para la realización de los análisis químicos en el laboratorio.

Al **Ing. Marcelino Avendaño** por el apoyo que me brindo en el uso del software SAS.

A **mis compañeros de generación**, por brindarme su amistad y apoyo, en especial para mis amigos: Artemio, Arbeis, Daniel, Fermín, Eliel, Hugo, Pablo, Jairo, Romairo.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES:

Carolina Pérez Cruz y Margarito Pérez Jiménez: A ustedes por haberme dado el regalo más valioso de este mundo “la vida”, por haberme formado como un hombre de bien, humilde y sencillo, por el amor y cariño que siempre me han demostrado, por haber tenido plena confianza en mí como estudiante y como persona, por el apoyo que me brindaron en todo momento sin escatimar esfuerzos, por sus consejos que siempre me acompañan y me han ayudado a sobresalir en todas las etapas de mi vida. Con todo cariño por que son los seres que más amo, respeto y admiro, que Dios me los bendiga y me los conserve por más tiempo.

A MIS HERMANOS:

Antonio, Carmen, Francisco, Graciela, Juan, Olivia: A ustedes por la confianza y cariño que siempre me han brindado, porque esta meta la he logrado gracias a ustedes, por estar conmigo en los momentos buenos y malos. Los quiero mucho. En especial a ti hermana Olivia por el apoyo incondicional y confianza que siempre me brindaste.

A TODA MI FAMILIA:

Tíos, primos, sobrinos: A todos ustedes que de una u otra forma estuvieron pendientes a lo largo de este proceso, por el apoyo, cariño y confianza que siempre me han demostrado, también dedico este trabajo a la memoria de mis abuelos que se nos adelantaron en el camino.

INDICE DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| AGRADECIMIENTOS..... | i |
| DEDICATORIAS..... | ii |
| INDICE DE CUADROS..... | iv |
| INDICE DE FIGURAS..... | iv |
| RESUMEN..... | v |
| I. INTRODUCCIÒN..... | 1 |
| 1.1. Objetivos | 5 |
| 1.2. Hipòtesis..... | 5 |
| II. REVISIÒN DE LITERATURA..... | 6 |
| 2.1.1. Descripciòn botànica del maiz | 6 |
| 2.1.2. Condiciones para el cultivo del maiz | 8 |
| 2.1.3. Importancia del maiz..... | 10 |
| 2.2. Aceites en el grano de maiz | 12 |
| 2.2.1. Ácidos grasos | 13 |
| 2.3. Poliembrionia | 20 |
| 2.3.1. Estudios sobre Poliembrionia en maices del IMM – UAAAN | 24 |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 29 |
| 3.1. Localizacion del Area de Estudio..... | 29 |
| 3.2. Material Genético | 29 |
| 3.3. Variables de estudio..... | 30 |
| 3.4. Procedimiento experimental | 31 |
| 3.4.1. Obtenciòn de la harina de maiz | 31 |
| 3.4.2. Extracciòn de grasa cruda de la harina del maiz..... | 31 |
| 3.4.3. Extracciòn y cuantificaciòn de los ácidos grasos Oleico y Linoleico. | 33 |
| 3.5. Calibraciòn de los estàndares de los ácidos grasos Oleico y Linoleico..... | 36 |
| 3.6. Diseño y Analisis estadístico | 37 |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIÒN | 38 |
| Por ciento de grasa cruda (GC)..... | 38 |
| Porciento Oleico, Linoleico, relaciòn Oleico: Linoleico (L, LN, OL/LN). | 41 |
| V. CONCLUSIONES..... | 45 |
| V. BIBLIOGRAFIA | 46 |

INDICE DE CUADROS

| | |
|--|----|
| Cuadro 2.1. Algunos ácidos grasos de importancia | 14 |
| Cuadro 3.1. Descripción de los genotipos de maíz bajo estudio con diferentes dosis de germoplasma de poliembrionía y alto contenido de aceite, cada uno con sus respectivas repeticiones. | 30 |
| Cuadro 4.1. Análisis de varianza para grasa cruda (GC). Análisis químico 2011. | 39 |
| Cuadro 4.2. Cuadrados medios para las variables OL, LN. | 42 |
| Cuadro 4.3. Comparación de medias por genotipo para las variables OL, LN y OL/LN. | 42 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 2.1. Configuración <i>Cis</i> y <i>Trans</i> | 16 |
| Figura 3.1. Extracción de grasa cruda por método Soxhlet | 32 |
| Figura 3.2. Extracción de triglicéridos del aceite de maíz | 33 |
| Figura 3.3. Viales con muestras para cromatografía de gases | 34 |
| Figura 3.4. Cromatograma de ácido Oleico y Linoleico | 35 |
| Figura 3.5. Curva de calibración para el estándar del ácido Oleico | 36 |
| Figura 3.6. Curva de calibración para el estándar del ácido Linoleico. | 36 |
| Figura 4.1. Respuesta del contenido de GC (%) en genotipos de maíz, comparadas con las poblaciones bases (D y E) y el testigo (AN-447). D= Población Braquítica de Alta Poliembrionía (BAP), E= Población Tuxpeño de Alto Aceite, C= Población Normal de Alta poliembrionia (NAP), Cn (1:2, 2:1,1:1)= Combinaciones a diferentes dosis de germoplasma de D y E. Barras con diferente literal son estadísticamente diferentes. | 39 |

Determinación de ácidos grasos (oleico y linoleico) en siete diferentes
genotipos de maíz (*Zea mays* L.).

Por

Juan Carlos Pérez Pérez

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es de gran importancia para la alimentación humana y animal en México y a nivel mundial. Por razones vinculadas al cuidado de la salud, la industria alimentaria mundial manifiesta una marcada tendencia a recurrir a dietas con grasas vegetales que tienen altos niveles de ácidos grasos insaturados. En este sentido, el aceite de maíz es considerado de buena calidad comestible por su elevado contenido de ácidos grasos insaturados (oleico y linoleico). (Starble y Scanlon, 2009).

Por otra parte, cuando la semilla de maíz presenta más de un embrión, los que en su oportunidad generarán más de una planta adulta, se tiene el fenómeno poliembriónica (PE), que en cierto grado, influye en la composición química del grano ya que en el embrión se concentra el aceite; para ello, el endospermo debe tener la capacidad de nutrir a más embriones, los que en su oportunidad generarán plantas adultas.

Tomando en cuenta lo anterior, y teniendo la posibilidad de utilizar experimentalmente a poblaciones poliembriónicas de maíz, y de alto contenido de aceite, este trabajo se realizó con los siguientes objetivos: 1) Cuantificar

químicamente el contenido de grasa cruda (GC) en genotipos de maíz poliembriónicos (PE), maíz de alto contenido de aceite (AA) y combinaciones en diferentes dosis de germoplasma entre ellos, y compararlos con el maíz común; 2) Cuantificar químicamente los contenidos de ácidos grasos Oleico y Linoleico en los mismos genotipos de maíz.

El material de estudio se constituyó de 7 genotipos de maíz, teniendo a dos poblaciones poliembriónicas BAP (en lo sucesivo D) y NAP (En lo sucesivo C), a una población de alto contenido de aceite (AA) y denominada Tuxpeño-HOC desarrollada originalmente por CIMMYT (en lo sucesivo E). Tomando como testigo para representar al maíz común al híbrido trilineal AN-447. También se utilizaron tres genotipos que incluyen la entremezcla de germoplasma PE:AA en tres diferentes dosis a partir de D y E.

Las variables de estudio fueron: Por ciento de grasa cruda (GC), Por ciento de ácidos grasos oleico (OL) y linoleico (LN), y la relación oleico: linoleico (OL/LN).

Los genotipos fueron analizados bajo un diseño completamente al azar, 2 repeticiones, aplicando el análisis de varianza correspondiente para cada variable, con excepción de la variable OL/LN. En caso de significancia estadística entre genotipos, se aplicó la prueba de medias Tukey ($\alpha = 0.05$).

Para la variable GC, el análisis de varianza presentó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), el Tuxpeño-HOC (E), fue superior a todas los demás genotipos en cuanto al contenido de grasa cruda, así mismo el más bajo fue el testigo AN-447. Las poblaciones poliembriónicas BAP Y NAP

presentaron contenidos superiores al maíz común en un 62 % y 30% respectivamente. Los genotipos generados a partir de la combinación germoplásmica de las dos fuentes (BAP – Tuxpeño), mostraron una superioridad que va de 25 % a un 30% sobre el testigo. Esto puede atribuirse a que la poliembriónica está asociada con la concentración de lípidos en el grano.

El ANVA de las variables OL y LN no detectó diferencias significativas, y en el caso del cociente OL/LN, formulado para determinar la probable superioridad del contenido de oleico, no fue posible aplicarle la técnica del ANVA por falta de normalidad de los datos. Sin embargo, el orden jerárquico de los resultados del cociente en función del genotipo, permitió señalar la tendencia observable con respecto a la variable. En esto, se destaca que población Tuxpeño-HOC resultó mayor en cuanto al contenido del ácido graso OL, pero también presentó el contenido más alto de Linoleico, lo cual hace que presente una relación OL/LN inferior a la que muestran el resto de los genotipos poliembriónicos.

Las poblaciones poliembriónicas BAP y NAP presentaron un monto 50 % en el contenido de estos ácidos, el cociente OL/LN fue positivo y 25 % a favor del contenido de ácido OL, lo cual los presenta como materiales con valor industrial para la extracción de Oleico.

Las poblaciones que resultaron de la mezcla de germoplasma (D y E) a diferentes dosis (Cn 1:2, Cn 2:1, Cn 1:1), presentan contenidos para las variables OL y LN de 6.00 y 4.72 g/L respectivamente, y el cociente OL/LN indica que se tiene de 22 a 31 % más de aceite OL, en todos los casos superiores a su progenitor E, y en algunos casos superiores a D.

La población AN-447 híbrido del IMM-UAAAN, presenta niveles muy buenos de ácido Oleico y Linoleico (5.56 y 4.30 g/L respectivamente), y la relación OL/LN indica una presencia de 29 % más de AG Oleico que Linoleico.

De este modo, aunque el híbrido fue estadísticamente inferior en contenido de GC, su valor superior se señala por su cociente OL/LN superior a uno.

En conclusión, la combinación de germoplasma de alta frecuencia poliembriónica (PE) y de alto aceite (AA) genera progenies con alto contenido de GC, superiores al maíz común y una buena proporción OL/LN. Deseable para la industria aceitera de maíz.

Palabras clave: *Zea mays* L, Poliembriónica, Grasa cruda, Oleico, Linoleico.

I. INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cultivos de mayor importancia económica y alimenticia en el mundo (FAOSTAT, estadísticas para México, 2010); también se le considera un modelo de estudio en genética y disciplinas afines (Starble y Scanlon, 2009). En este contexto, es actual y válido que mediante programas de mejoramiento genético del maíz deban buscarse la generación de variedades que aporten beneficios directos a la productividad y alimentación humana, y que ayuden a enfrentar los desafíos de los diversos sistemas agrícolas que se practican en nuestro país, algunos demostrablemente ineficientes.

Actualmente, por razones vinculadas al cuidado de la salud, la industria alimentaria mundial manifiesta una marcada tendencia a recurrir a dietas con grasas vegetales que tienen altos niveles de ácidos grasos insaturados. En este sentido, el aceite de maíz es considerado de buena calidad comestible por su elevado contenido de ácidos grasos insaturados (mayormente oleico y linoleico). La importancia de la composición de ácidos grasos de los aceites se basa en que la misma determina propiedades que caracterizan su calidad nutritiva, culinaria y/o industrial.

Además del uso ancestral del maíz en la alimentación humana y pecuaria, se ha convertido también en una fuente de materia prima para la industria en general, la de alimentos en particular; estas aplicaciones requieren en la actualidad de maíces especializados de acuerdo al uso o aplicación que se pretenda.

El maíz de alto contenido de aceite (conocidos como maíces HOC, por sus siglas en inglés, high oil corn) es una de las variantes hacia la industrialización del cereal, sea para aceites comestibles o dietas pecuarias. La tecnología actual para variedades de alto aceite de aplicación comercial se reduce a los híbridos denominados "Top Cross blend", utilizados principalmente en EUA (Thomison *et al.*, 2003) y que representan variedades híbridas integradas por mezclas de fuentes genéticas distintas, donde el 95 a 97 % de la semilla representa un híbrido de alta capacidad productiva pero androestéril (incapaz de producir polen), el resto de las semillas consiste en un material que fungirá como macho y que en el proceso de la polinización - fecundación inducirá la capacidad genética para que los granos de maíz produzcan más aceite que el maíz común. En México, por otro lado, la utilización de maíces HOC es prácticamente nula debido, entre otras cuestiones, a que no se cuenta con variedades comerciales de alto aceite (Coutiño *et al.*, 2008) y a que la industria aceitera nacional utiliza la separación del germen del endospermo para la extracción de aceites que se comercializan en México.

La poliembrionia (PE) que puede detectarse en cariopsis de maíz es otro fenómeno de interés por su cualidad de producir dos o más plantas productivas por semilla, probablemente causado por la presencia de dos o más embriones en ella; además de esta ventaja, se pueden agregar las de: reducción en la cantidad de semilla para siembra; más producción de materia seca por caso; e incremento de la calidad nutrimental del grano, incluyendo mayor contenido de aceites (Espinoza *et al.*, 1998; Musito *et al.*, 2008; Pesev *et al.*, 1976; Rodríguez y Castro, 1979).

La condición PE o semilla prolífica presenta cualidades aprovechables en la constitución de nuevas variedades de maíz que conjuguen mejoría en rendimiento y calidad nutrimental. La poliembrionia de dos o más embriones, gemelares o no, estos últimos de origen diverso, y por lo tanto separados físicamente dentro de la semilla, presenta la posibilidad de más aceite, ya que alrededor de 85% de los lípidos del maíz están en el germen, fuente del aceite comercial de maíz. El aceite refinado de maíz contiene principalmente triglicéridos y ácidos grasos, saturados e insaturados. En éstos, se encuentran los ácidos linoleico (58%), oleico (27%), linoleico (0.8%) y araquidónico (0.2%); entre los saturados están principalmente el palmítico (12%) y el esteárico (2%) (Lambert, 2001; Paliwal *et al.*, 2001; Thomison *et al.*, 2003).

El alto contenido de aceites insaturados del maíz lo hace ser un alimento valioso y fácil de digerir; las investigaciones sobre grasas saturadas y su influencia sobre el colesterol, colocan al aceite de maíz en posición dietética favorable, empleándose también en la alimentación de ganado por su alto valor energético. El ácido oleico es el de mayor valor biológico debido a que previene enfermedades cardíacas y disminuye la rancidez del aceite, lo cual facilita el almacenamiento y reduce la cantidad de conservadores (Thomison *et al.*, 2003).

Considerando la importancia de las variantes de maíz que favorecen la calidad nutrimental del grano, el Instituto Mexicano del Maíz “ Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN), ha generado dos poblaciones experimentales de alta frecuencia poliembriónica,

denominadas UA-IMM-BAP, de porte enano, y UA-IMM-NAP, de altura normal (Espinoza *et al.*, 1998; Castro, 1979; Musito *et al.*, 2008; Rodríguez y Castro, 1978;); estas poblaciones, además de alta poliembriónica, presentan características deseables como: Alto contenido de grasa cruda (5.5 a 6%) y del aminoácido lisina (3 a 4 %) lo cual representa del 20 al 40 % más que en el maíz común. Por otra parte, el banco de germoplasma de maíz del CIMMYT cuenta con diversos materiales de interés en contenido de aceite, una de ellas es la población denominada Tuxpeño HO, que contiene aceites en niveles de 8 a 9 %, y de la cual el IMM-UAAAN cuenta con una muestra adecuada. (Espinoza *et al.*, 1999; Valdez *et al.*, 2004, Valdez, 2005).

La línea de investigación sobre poliembriónica que desarrolla el IMM-UAAAN, busca, a través de la mejora de las poblaciones arriba mencionadas, la derivación de líneas endogámicas, y la combinación de germoplasma PE y otras fuentes exóticas (EX) en dosis graduales PE:EX, establecer una correlación positiva de este fenómeno con la cantidad y calidad de grasa y proteína del grano, incrementando los niveles de los ácidos grasos oleico y linoleico y de los aminoácidos lisina y triptófano.

En este trabajo fue de interés utilizar los materiales: Tuxpeño-HO y la población poliembriónica BAP, con la finalidad de aprovechar sus atributos de calidad proteica y contenido de aceites, superiores al maíz común, para integrar germoplasma que combine poliembriónica y alto contenido de aceite (PE : AA) que sirva de base para la generación de genotipos de utilidad en futuros trabajos de mejoramiento hacia la calidad nutricional del grano, en especial al contenido de ácidos grasos (Oleico y Linoleico), debido a que estos

dos ácidos grasos insaturados son de los más abundantes y determinan en gran medida las propiedades nutricionales de los aceites vegetales. Y aunque no se aborda en este trabajo, es oportuno señalar que un plus en este proceso de investigación será la capacidad que tiene la PE de incrementar de manera sustancial el contenido de los aminoácidos lisina y triptófano.

1.1. Objetivos

- Cuantificar químicamente el contenido de grasa cruda (GC) en genotipos de maíz poliembriónicos (PE) y maíz de alto contenido de aceite, y compararlos con el maíz común.
- Cuantificar químicamente los contenidos de ácidos grasos Oleico y Linoleico en genotipos de maíz poliembriónico (PE) y maíz de alto contenido de aceite (AA), y sus combinaciones en diferentes dosis.

1.2. Hipótesis

- El maíz poliembriónico concentra más ácidos grasos Oleico y Linoleico, que el maíz común, y existe una asociación positiva entre poliembrionia y el contenido de grasa cruda, por lo que la hibridación con una fuente de alto aceite puede incrementar la calidad del grano de los grupos que se combinen a diferentes dosis PE:AA.

II. REVISIÒN DE LITERATURA

2.1. Generalidades del maíz

El cultivo de maíz tiene un origen geográfico todavía discutible, sin embargo, las evidencias y estudios actuales lo sitúan en la región centro-occidental de México y, de algún modo, en parte de Centroamérica (Bennetzen *et al.*, 2001; Doebley, 1990; Heerwaarden *et al.*, 2011). La especie es una planta anual de gran desarrollo vegetativo, muy robusta, su nombre botánico es *Zea mays*: es de régimen anual, su ciclo vegetativo oscila entre 80 y 200 días. Existen variedades enanas de 40 a 60 cm de altura, hasta las gigantes de 200 a 300 cm, el maíz se utiliza principalmente para la alimentación humana en la mayoría de las regiones del mundo (Paliwal *et al.*, 2001; Robles, 1990).

2.1.1. Descripción botánica del maíz

El maíz es una planta de porte robusto y de hábito anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud alcanzando alturas de uno a cinco m, con pocos macollos o ramificaciones, su aspecto recuerda el de una caña de azúcar por la presencia de nudo y entrenudos y su médula esponjosa. Las hojas nacen en los nudos de manera alterna a lo largo del tallo; se encuentran abrazadas al tallo mediante vaina que envuelve el entrenudo y cubre la yema floral, de tamaño y ancho variable. Las raíces primaria son fibrosas presentando además raíces adventicia que nacen en los primeros nudos por encima de superficie del suelo, ambas tienen la misión de mantener a la planta erecta (Kato *et al.*, 2009).

En términos reproductivos, el maíz es una planta monoica de flores unisexuales, que presenta flores masculinas y femeninas bien diferenciadas en la misma planta: la inflorescencia masculina es terminal, se conoce como panícula (o espiga) y consta de un eje central o raquis y ramas laterales a lo largo del eje central se distribuyen los pares de espiguillas de forma polística y en las ramas con arreglo dístico y cada espiguilla está protegida por dos brácteas o glumas, que a su vez contienen en forma pareada las flores estaminadas; en cada florecilla componente de la panícula hay tres estambres donde se desarrollan los granos de polen. La coloración de la panícula está en función de la tonalidad de las glumas y anteras, que pueden ser de coloración verde, amarilla, rojiza o morada.

Las inflorescencias femeninas (mazorcas) se localizan en las yemas axilares de las hojas, son espigas de forma cilíndrica que consisten de un raquis central u olote donde se insertan las espiguillas por pares, cada espiguilla con dos flores pistiladas una fértil y otra abortiva, estas flores se arreglan en hileras paralelas las flores pistiladas tienen un ovario único con un pedicelo unido al raquis, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas donde germina el polen.

La inflorescencia femenina (mazorca) puede formar alrededor de 400 a 1000 granos arreglados en promedio de ocho a 24 hileras por mazorca; todo esto encerrado en numerosas brácteas o vainas de las hojas (totomoxtle), los estilos largos saliendo de la punta del raquis como una masa de hilo sedoso se conocen como pelo de elote; el jilote es el elote tierno. Por las características mencionadas, el maíz es una planta de polinización abierta (anemófila)

propensa al cruzamiento, la gran mayoría de los granos de polen viajan de 100 a 1000 m (Kato *et al.*, 2009; Reyes, 1990).

En la mazorca cada grano o semilla es un fruto independiente llamado cariósipide que está insertado en el raquis cilíndrico u olote; la cantidad de grano producido por mazorca está limitada por el número de granos por hilera y de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen el grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento.

2.1.2. Condiciones para el cultivo del maíz

El maíz se siembra en una gran variedad de regiones agroecológicas que van de altitudes de 0 m hasta cerca de los 4,000 metros (Ortega-Paczka, 2003; Roberts *et al.*, 1957), se cultiva desde el ecuador hasta altas latitudes en los dos hemisferios, se siembra en regiones de precipitación pluvial desde menos de 400 mm hasta los 3,000 mm, en suelos y climas muy variables. El maíz es una especie tropical, para la cual la temperatura óptima es 30° C, con un periodo libre de heladas en el ciclo agrícola variable de 120 a 180 días ((Kato *et al.*, 2009; Paliwal *et al.*, 2001; Reyes, 1990).

El maíz es un cultivo exigente en agua donde las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo; cuando la semilla germina se requiere menos cantidad de agua manteniendo una humedad constante. En la fase del crecimiento vegetativo es cuando se requiere una mayor cantidad de agua, siendo la fase de floración el periodo más crítico porque de ella depende el desarrollo, la polinización y el llenado de los granos influyendo así en el rendi-

miento de granos de las plantas. Se adapta muy bien a todo tipo de suelo (Reyes, 1990).

En México, la alta diversidad ambiental exhibe zonas con condiciones climáticas inestables, tanto en el régimen de lluvia (temporal) como, en el de temperatura (principalmente heladas tempranas) y escasa capa de suelo.

Una característica fisiológica particular del maíz que favorece su adaptación a zonas tropicales en donde en ocasiones la evapotranspiración es alta, es la estructura anatómica de sus hojas, en ellas existen dos tipos de células (epidérmicas y estomáticas) con diferente organización bioquímica y estructural, que durante el proceso fotosintético les permite fijar el CO₂ en diferentes compuestos intermediarios que contienen cuatro átomos de carbono, en la etapa previa a incorporarse al Ciclo de Calvin, con un gasto menor de energía y menor pérdida de agua en la evapotranspiración, por esta característica se les denomina plantas C4. El resultado final es una mayor eficiencia fotosintética neta, al lograr la síntesis de la hexosa más rápidamente por unidad de superficie de hoja, crecen más de prisa y funcionan eficazmente con intensidades lumínicas más altas, que las plantas C3 (compuestos de tres carbonos).

Bajo estas condiciones, la cantidad y distribución de la lluvia son fundamentales para la producción de este cereal (Aragón *et al.*, 2006). Su fácil adaptación a variadas condiciones ambientales abre la pauta para el despliegue de una amplia gama de tecnologías tradicionales que han sido experimentadas y enriquecidas por milenios (Olivo *et al.*, 2001).

2.1.3. Importancia del maíz

El maíz, *Zea mays* L. es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen. Pertenece a la familia de las Poáceas (Gramíneas), tribu Maydeae y es la única especie cultivada de este género. Otras especies del género *Zea*, comúnmente llamadas teosintle y las especies del género *Tripsacum* conocidas como arrocillo o maicillo son formas silvestres, parientes de *Zea mays*. Son clasificadas como del Nuevo Mundo porque su centro de origen está en México – América central.

El maíz cultivado es una planta completamente domesticada y el hombre y el maíz han vivido y han evolucionado juntos desde tiempos remotos. El maíz no crece en forma silvestre y no puede sobrevivir por si sólo en la naturaleza, siendo completamente dependiente de los cuidados del hombre (Dowswell, Paliwal y Cantrell, 1996; Galinat, 1988; Wilkes, 1985).

El maíz tiene el más alto potencial para la producción de hidratos de carbono por unidad de superficie por día. Fue el primer cereal a ser sometido a rápidas e importantes transformaciones tecnológicas en su forma de cultivo, tal como se pone en evidencia en la bien documentada historia del maíz híbrido en los Estados Unidos de América y posteriormente en Europa. El éxito de la tecnología basada en la ciencia para el cultivo del maíz ha estimulado una revolución agrícola generalizada en muchas partes del mundo (Paliwal *et al.*, 2001).

En la actualidad, el maíz es el primer cultivo del mundo por su producción, después el trigo, mientras que el arroz ocupa el tercer lugar. Es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea y es el segundo, después

del trigo, en producción total. El maíz es de gran importancia económica a nivel mundial ya sea como alimento humano, como alimento para el ganado o como fuente de un gran número de productos industriales. La diversidad de los ambientes bajo los cuales es cultivado el maíz es mucho mayor que la de cualquier otro cultivo. Habiéndose originado y evolucionado en la zona tropical como una planta de excelentes rendimientos, hoy día se cultiva hasta los 58 ° de latitud norte en Canadá y Rusia, y hasta los 40° de latitud sur en Argentina y Chile.

La mayor parte del maíz es cultivado a altitudes medias, pero se cultiva también por debajo del nivel del mar en las planicies del Caspio y hasta los 3 800 msnm en la cordillera de los Andes. Más aún, el cultivo continúa el proceso de expansión hacia nuevas áreas y a nuevos ambientes.

El maíz es clasificado en dos tipos distintos dependiendo de la latitud y del ambiente en el que se cultiva. El maíz cultivado en los ambientes más cálidos, entre la línea ecuatorial y los 30° de latitud sur y los 30° de latitud norte es conocido como maíz tropical, mientras que aquel que se cultiva en climas más fríos, más allá de los 34° de latitud sur y norte es llamado maíz de zona templada; los maíces subtropicales crecen entre las latitudes de 30° y 34° de ambos hemisferios. Esta es una descripción muy general ya que los maíces tropicales y templados no obedecen a límites regionales o latitudinales rígidos.

El maíz tropical a su vez, es clasificado en tres subclases, también basadas en el ambiente: de tierras bajas, de media altitud y de zonas altas.

Esta clasificación de los tipos de maíz basada en el ambiente ha sido descrita en detalle por Dowswell *et al.*, (1996).

En México, el maíz se usa principalmente para la alimentación humana, los usos del maíz se distribuyen en tres grandes grupos de consumidores: Humano, Pecuario, e Industrial. Puede usarse para obtención de grano, para alimentación de aves, cerdos, ganado lechero, pastoreo o forraje.

El maíz como cultivo forrajero comprende el forraje verde, el rastrojo y el ensilaje, el primero está constituido por la planta completa fresca o curada, el rastrojo comprende la planta seca de maíz sin mazorca. La industria elaboradora de alimento mixto para el ganado, es el principal consumidor industrial de maíz desgranado en los EUA. El maíz es probablemente el material orgánico más barato y puro de la agricultura americana, disponible para uso industrial a gran escala (Mangelsdorf y Wellhausen, 1992).

2.2. Aceites en el grano de maíz

En el maíz, casi todo el aceite está en el germen de la semilla. El aceite refinado de la semilla de maíz tiene un elevado valor nutritivo y es de fácil digestión. Además, la investigación médica sobre la influencia de las grasas saturadas sobre el colesterol, sitúa al aceite de germen de maíz en una posición ventajosa respecto a otros aceites vegetales en este aspecto. El aceite del germen de maíz contiene un 14% de ácidos grasos saturados, 30 % ácidos grasos insaturados y 56 % de ácidos grasos poliinsaturados (EFSA, 2005).

Los lípidos se someten a un criterio empírico básico para su clasificación, que es la reacción de saponificación. La saponificación consiste en la hidrólisis alcalina de la preparación lipídica (con KOH o NaOH). Se distinguen por tanto dos tipos de lípidos: 1) los saponificables y 2) los insaponificables. Los lípidos saponificables agrupan a los derivados por esterificación u otras modificaciones de ácidos grasos, y se sintetizan en los organismos a partir de la aposición sucesiva de unidades de dos átomos de carbono. En este grupo se incluyen: (1) los ácidos grasos y sus derivados, (2) los eicosanoides (prostaglandinas, tromboxanos y leucotrienos), (3) los lípidos neutros (acilgliceroles y ceras) y (4) los lípidos anfipáticos (glicerolípidos y esfingolípidos). Los lípidos insaponificables son derivados por aposición varias unidades isoprénicas, y se sintetizan a partir de una unidad básica de 5 átomos de carbono: el isopreno. En este grupo de lípidos se incluyen: (1) los esteroides (esteroles, sales y ácidos biliares, hormonas esteroideas, etc) y (2) los terpenos (retinoides, carotenoides, tocoferoles, naftoquinonas, dolicoles, etc). (EHU, 2011).

2.2.1. Ácidos grasos

Las grasas y los aceites son prácticamente mezclas de diversos ácidos grasos en proporciones variables (FEDIOL, 2012). Los ácidos grasos se encuentran presentes en las grasas, raramente libres, y casi siempre esterificando al glicerol y eventualmente a otros alcoholes. La razón de esto es que en el metabolismo de los eucariotas, las cadenas de ácido graso se sintetizan y se degradan mediante la adición o eliminación de unidades de acetato.

Aunque los ácidos grasos (AG) se encuentran en cantidades muy grandes como componentes fundamentales de los lípidos saponificables, en las células y, en estado libre (no esterificados) aparecen solamente en trazas. Se han aislado unas 100 clases diferentes de ácidos grasos procedentes de diversos lípidos de animales, vegetales y microorganismos. Todos ellos poseen una cadena hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo terminal, y difieren entre sí en tres formas: 1) la longitud de la cadena de carbono, 2) presencia o ausencia de dobles enlaces, y 3) configuración de los dobles enlaces; los AG más abundantes son aquellos que contienen de 16-18 carbonos en cadena (Cuadro 2.1). A menudo se simbolizan con una notación taquigráfica que indica la longitud de la cadena carbonada y el número, posición y configuración de los dobles enlaces (Lehninger, 1978).

Cuadro 2.1 Algunos ácidos grasos de importancia

| SÍMBOLO | ESTRUCTURA | N. COMUN |
|-------------------------------|--|--------------|
| Ac. Grasos saturados | | |
| 16:0 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{14}\text{COOH}$ | Palmítico |
| 18:0 | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{COOH}$ | Estéarico |
| Ac. Grasos insaturados | | |
| 18:1 ^{Δ9} | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | Oleico |
| 18:2 ^{Δ9,12} | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ | Linoleico |
| 20:4 ^{Δ5,8,11,14} | $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_3\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_3\text{COOH}$ | Araquidónico |

Hay 2 tipos principales de ácidos grasos: 1) Ácidos grasos saturados (AGS). Sólo tienen enlaces sencillos entre átomos de carbono adyacentes; no contienen dobles enlaces, lo que les confiere una gran estabilidad y la característica de ser sólidos a temperatura ambiente. Los AGS predominan en los alimentos de origen animal, aunque también se encuentran en grandes cantidades en algunos alimentos de origen vegetal como los aceites de coco,

palma, también llamados aceites tropicales. El ácido esteárico (C18:0) es un ejemplo de AGS. Este tipo de ácidos grasos contribuyen al aumento del nivel de lipoproteínas de baja densidad LDL (colesterol malo) con consecuencias altamente potenciales para el humano y 2) Ácidos grasos insaturados, este grupo se puede subdividir en: 1) Ácidos grasos poliinsaturados (AGP) con dos o más dobles enlaces que pueden reaccionar con el oxígeno del aire aumentando la posibilidad de enranciamiento de la grasa. El ácido linoleico (C18:2) es un ejemplo de estos ácidos grasos, y 2) Ácidos grasos monoinsaturados (AGM) con un doble enlace en la molécula. Por ejemplo el ácido oleico (C18:1) principal componente del aceite de oliva. Las grasas monoinsaturadas son las más deseables para la dieta porque ayudan a disminuir el nivel de las lipoproteínas de baja densidad LDL (colesterol malo) en la sangre y ayuda a aumentar las lipoproteínas de alta densidad HDL (colesterol bueno) de acuerdo a FEDIOL, (2012).

Desde el punto de vista nutricional son importantes los ácidos grasos poliinsaturados de las familias omega-3 (n-3) y omega-6 (n-6), en los que el primer doble enlace está situado junto al tercer átomo de carbono (ácidos grasos omega-3) o junto al sexto átomo de carbono (ácidos grasos omega-6) contando desde el metilo terminal de la cadena. Algunos componentes de cada una de las familias son esenciales para el hombre: ácido linoleico (C18:2 n-6) y alfa-linoleico (C18:3 n-3). Los ácidos grasos de la familia omega-3 (principalmente en los pescados) tienen también un papel destacado en la prevención de algunas enfermedades degenerativas. Los ácidos grasos esenciales, son aquellos que el hombre no puede sintetizar: el ácido linoleico (C18:2 n-6) y el alfa-linoleico (C18:3 n-3) que juegan un papel especial en

ciertas estructuras, principalmente en el sistema nervioso. Si no se consume una pequeña cantidad de estos ácidos grasos esenciales (aproximadamente un 2-3% de la energía total), pueden producirse diversos trastornos.

Los ácidos grasos trans (grasas hidrogenadas), es el proceso de hidrogenación al cual se someten los aceites vegetales, mediante el cual se incorpora hidrógeno al doble enlace de los ácidos grasos insaturados de los aceites líquidos (se saturan y por tanto se solidifican) para obtener margarinas y grasas emulsionables, grasas sólidas que al estar más saturadas quedan parcialmente protegidas de la oxidación prolongando su vida útil. Sin embargo, una desventaja por la posible repercusión negativa sobre la salud, es que durante el proceso de hidrogenación, algunas de las moléculas que permanecen insaturadas cambian su configuración y así, algunos dobles enlaces que en la naturaleza son generalmente de configuración cis, adquieren la configuración trans (Figura 2.1), dando lugar a ácidos grasos cuyo comportamiento se asemeja más al de los AGS. (FEDIOL, 2012).

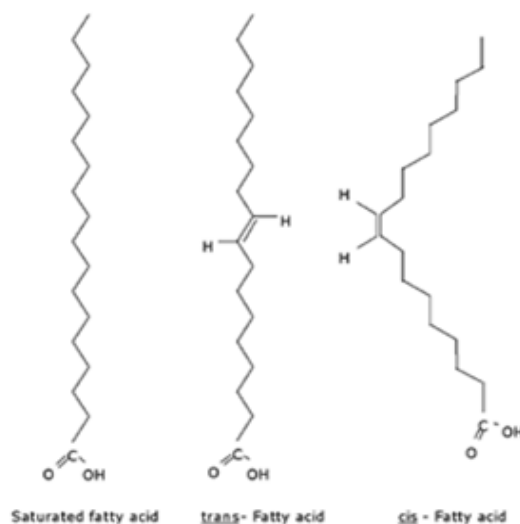


Figura 2.1. Configuración *Cis* y *Trans*

Existe una considerable variación en el contenido de aceite en el genoma del maíz donde la mayor parte está contenido en el embrión, ocupando el 33.2 % del mismo (Dale, 1997; Paliwal *et al.*, 2001). Los triacilglicéridos son el componente mayoritario del aceite del maíz, estos contienen una mezcla de AG saturados e insaturados. La composición media de ácidos grasos del aceite de maíz tiene un bajo nivel de ácidos grasos saturados: ácido palmítico (16:0) y ácido esteárico (18:0), 11.2 % y el 2 %, respectivamente. En cambio, contiene niveles relativamente elevados de ácidos grasos insaturados, fundamentalmente de ácido linoleico (18:2), 58.8 %, ácido Oleico (18:1), 25.9 % y cantidades reducidas de ácidos linoleico (18:3), 1.3 % y trazas de araquidónico (20:0) y otros (Lambert, 2001; Paliwal *et al.*, 2001; Thomison *et al.*, 2003).

Por otro lado el maíz de alto aceite (AA) contiene 11.6 % palmítico, 2.5 % esteárico, 34.6 % oleico, 49.5 % linoleico y 1 % otros (Thomison *et al.*, 2003). Además, el aceite de maíz es relativamente estable, por contener únicamente pequeñas cantidades de ácido linolénico (0.7 %) y niveles elevados de antioxidantes naturales (FAO, 1992).

En términos generales, se acepta el aceite de maíz como de alta calidad cuando el contenido del AG oleico es superior al reportado en el maíz común, por lo que puede mejorarse la calidad del aceite por el incremento en la concentración de ácido oleico (Wassom *et al.*, 2008). El ácido oleico contribuye a aumentar en el organismo los niveles de lipoproteínas de alta densidad HDL (colesterol bueno), estas lipoproteínas se encargan principalmente de retirar el exceso de colesterol malo de los tejidos, equilibrando de esta forma la

alimentación, además el ácido oleico representa una fuente de energía asimilable, es de fácil digestión y aumenta la secreción de hormonas digestivas y la de ácidos biliares (Manthey, 2002).

El maíz HOC (high oil corn) debe su alto contenido de aceite al incremento en la porción del germen de grano; también hay un incremento correspondiente de 0.38% en proteína por cada incremento de 1% en aceite. Un incremento de 1% en la concentración de grasa cruda resulta por lo general en una disminución de 1% de almidón. El aumento en la fracción del germen a costa del endospermo, mejora la calidad de la proteína del todo el grano de los HOC. Estas variedades HOC contienen entre 6% y 9% de aceite, y 8% de proteína cruda. Feed & Grain, (Abril, 1998).

La producción de maíz alto en aceite (HOC) incrementó su superficie sembrada en los Estados Unidos de América, de 50,000 hectáreas en 1992 a casi un millón de hectáreas en 1998, porque contiene de 1 a 2 veces más aceite, así como proteínas de alta calidad que el maíz amarillo normal. Siendo atractivo como alimento para ganado porque tiene mayor valor energético y puede reemplazar a otras fuentes dietéticas más caras. Pero no son ampliamente utilizados por los productores porque su potencial de rendimiento es bajo comparado con el normal (Poehlman *et al*, 2003).

En trabajos relacionados a la herencia de ácidos grasos oleico y linoleico presentes en el grano de maíz, Windstrom y Jellum, (1984) informan de una correlación negativa entre ellos y que los genes que controlan su

composición se localizan en el brazo largo del cromosoma 5; también encontraron indicios de que existen genes que controlan el ácido linoleico en el brazo corto del cromosoma 4, y en el corto del cromosoma 1.

Por otro lado, un estudio realizado por Wright (1995), se encontró una mutación en la variedad B73 SME mejorada, que aumenta la concentración del ácido oleico en la semilla de maíz. Esta mutación (designada *Olc1*) tiene un efecto parcialmente dominante.

Las concentraciones del ácido oleico en los no mutantes B73, heterocigoto *Olc 1* y homocigoto *Olc1* son aproximadamente 27% y 35% respectivamente, pero 52% en la F_2 del mutante B73. Las translocaciones indican que el gen *Olc1* se localiza en el brazo largo de cromosoma 1.

Como se desprende de esta literatura, los genes que influyen sobre los ácidos grasos oleico y linoleico son varios, localizados en al menos tres cromosomas del genoma de maíz.

2.3. Poliembrionia

Poliembrionia o embriones múltiples dentro de una misma semilla, ocurre espontáneamente en varias especies de plantas. Este fenómeno es común en gimnospermas y menos frecuente en angiospermas (Martínez y Gradziel, 2003).

Esta característica especial en el maíz puede definirse como la emergencia de dos o más embriones de un ovulo o huevo, lo cual se puede observar directamente en pruebas de germinación con la emergencia de varias plantas nacidas de manera simultánea a partir de una sola semilla (González, 2008). La poliembrionia en maíz es un carácter genético que imparte la capacidad de producir semillas poliembrionicas y con alta calidad nutritiva (Musito *et al.*, 2008).

El maíz se ha estudiado ampliamente en sus características físicas, químicas, evolutivas, moleculares etc., y mediante selección recurrente se han desarrollado nuevas líneas de poblaciones con diferentes características una de las cuales ha sido a favor de la poliembrionia (Espinoza *et al.*, 1998).

Webber (1940) publica un amplio ensayo sobre poliembrionia (PE), incluyendo casos de angiospermas y gimnospermas, describiendo sus causas, y relación con la agricultura. Los tipos de PE que enuncia el autor son: a) Poliembrionia esporofítica, aquí los embriones se forman de las células de la nucela o del integumento, las cuales se dividen y se desarrollan dentro del saco embrionario, produciendo uno o varios embriones; para el desarrollo de los embriones esporofíticos es necesario el estímulo de la polinización y fertilización de la estructura reproductiva; b) Poliembrionia segmentada

(cleavaje); este tipo de PE es resultado de la separación o división del cigoto o embrión joven en dos o más unidades, cada uno de los cuales se desarrolla en embriones por separado aunque físicamente cercanos. Los embriones segmentados son monocigóticos de origen, por lo que las plantas resultantes son idénticas.

De acuerdo con Webber (1940) otros tipos de PE son: c) Poliembrión simple; en gimnospermas, la PE se debe a la formación de huevos múltiples a partir de una megaspora, quienes se unen con el núcleo generativo proveniente del polen.

Aunque la producción de más de un huevo u óvulo puede atribuirse a segmentación, es probable también que el caso de los embriones extras se deba a las sinérgidas, fecundadas por un núcleo generativo extra; d) Poliembrión euploide; incluye a los embriones múltiples que dan lugar a plantas monoploides y euploides, reportado en varios géneros de plantas, mayormente en gramíneas; los casos más comunes en este tipo de PE son los pares diploide-diploide.

De interés también la tipificación de e) Poliembrión Verdadera y falsa; para (Weeber, 1940), la producción de varios embriones dentro del saco embrionario se designa como poliembrión verdadera, mientras que la falsa poliembrión es la producción de embriones derivados de varios sacos embrionarios; en este caso, los embriones se derivan de: 1) megasporocitos de diferente nucela; 2) dos o más megasporocitos, megasporas hermanas en la misma nucela y 3) el megasporocito normal y aposporio de la misma nucela.

La distinción entre verdadera y falsa poliembriónia es arbitraria; una distinción más natural o fisiológica sería lo más apropiado. En varios casos, la PE verdadera involucra apomixis.

Los tipos principales de PE en maíz, detectados a partir de un análisis histológico, está en función del origen de los embriones, su localización en el grano, diferencias en su estructura (tejidos comunes) y el tipo de germinación, Erdelska (1996). De acuerdo con este autor, la PE se origina de tres maneras: embriones pares que provienen de sacos embrionarios múltiples, se ubican en lados opuestos, o a distancia, en el grano, los cuales carecen de tejidos comunes y germinan independientemente; casos de gemelos o triples que provienen de células huevo individuales del saco embrionario o de células con capacidades multi-huevo que están estrechamente adheridas, pero estrictamente separados por capas epidérmicas; con un endospermo en común; las plúmulas y radículas son independientes; y el caso de los poliembriones originados por multiplicación de la célula huevo (cleavaje), en vivo y de manera espontánea o después de alguna inducción, comparten un suspensor común, parte del escutelo y capas superficiales de radícula; por ello, los embriones germinan con plúmulas separadas pero un solo complejo radicular.

Otra causa de PE fue descrito por Hallauer y Miranda, (1981) y se refiere a una mutación recesiva designada "gametofito indeterminado" (*ig*) y afecta al saco embrionario de los homocigotes; algunos de los efectos de este gen son: esterilidad masculina, 50% de casos en plantas *igig*; plantas abortivas o defectuosas, 25% de plantas *igig*; poliembriónia en 6% de semillas,

endospermo normal, que recibieron el gen *ig* de madres *Igig* o *igig*; y monoploidía en el 3% de los casos de cruzas con madres *igig*. De este modo, el gen *ig* también ocasiona la pérdida de las funciones normales en el desarrollo del gametofito femenino.

Pesev *et al.*, (1976) informan de dos poblaciones de maíz que presentan el carácter PE en frecuencia inicial de 3.1 %, observadas en el Instituto Yugoslavo del Maíz en los años 1963-1964, a partir de los cuales se desarrolló un programa de selección para el carácter y la formación de líneas endogámicas; los resultados en 10 años de trabajo se presenta a través de 12 líneas endogámicas, cuya frecuencia PE varió de 2.1 % a 25.3%, con superioridad de estas semillas en contenidos de proteína y grasa cruda, así como lisina, al compararlos con el maíz común.

Rebolloza *et al.*, (2011) plantean que la poliembrionia (PE) que ocurre en dos poblaciones de maíz es controlada por dos loci epistáticos, donde basta la presencia de un alelo dominante de cualquiera de ellos para expresar la condición normal de plántula (acción génica duplicada), por lo que la poliembrionia se expresa sólo con el genotipo doble homocigótico recesivo, al realizar un estudio sobre la herencia de la poliembrionia en dos poblaciones experimentales de maíz, evaluando progenies F1, F2 (campo) y RC1 (Invernadero) de cruzas de las poblaciones IMM-UAAAN-BAP (D) e IMM-UAAAN-NAP (C). La segregación de la PE en F2 se probó con la hipótesis de dos loci recesivos hipostáticos 15:1 (progenie No-PE vs. progenie PE), y para las retrocruzas la hipótesis fue 12:4. La PE no se expresó en F1 pero sí en F2 y RC1, en proporciones de 3

a 7 % y de 13 a 22 %, respectivamente. Estas proporciones son compatibles con las hipótesis planteadas, pero con la consideración de penetrancia incompleta la cual se pudo observar en montos de 10 a 50 %, según la fuente de germoplasma exótico en combinación con las poblaciones PE.

2.3.1. Estudios sobre Poliembrionia en maíces del IMM – UAAAN

El estudio y manejo de plantas de maíz doble embrión o “gemelas”, (denominación vigente de 1973 a 1995), o poliembriónicas, denomina así de 1996 a la fecha, por que las hay de 2 y hasta 7 plántulas por semilla, ha sido una línea de investigación en el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (IMM-UAAAN). El objetivo inicial aquí fue generar poblaciones con alta frecuencia de PE. Castro (1973), reporta el carácter doble embrión encontrado en el compuesto 301-SSE (Selección Súper Enana) en frecuencia aproximada de 2%, formado por cruce de plantas de tallo cuadrado con una población segregante para br_2br_2 con 75% de germoplasma de la variedad Puebla grupo 1 y 25% de Tuxpeño braquítico (Castro, 1973; Valdez, 2005).

Las plantas gemelas iniciales formaron la base para integrar una población de maíz sobre la cual iniciar el estudio y la selección del carácter doble embrión. Rodríguez y Castro (1978) informan la aplicación de métodos de selección y la determinación de la heredabilidad del carácter doble embrión. Formaron tres grupos sintéticos, dos de ellos con plantas gemelas y el tercero con no-gemelas, obteniendo por selección un aumento

de 4.01% a 11.45% en los dos primeros, y de sólo 4.01% a 5.01% en el tercero.

Siguiendo avances en el tema, Castro (1979) señala que en el cuarto ciclo de selección hacia mayor PE se prosiguió en forma divergente siguiendo el método de cruzas dobles crípticas entre los dos primeros sintéticos para hacer uno solo. En este ciclo, la PE alcanzó 33.28%. La regresión progenie-progenitor se calculó en $Pop = 0.65$, lo que indica que el carácter se debe a genes de acción aditiva; el autor también plantea la posibilidad de influencia materna en las plantas gemelas.

Una recapitulación de los avances en el tema de plantas gemelas en el IMM-UAAAN lo presenta Rodríguez (1981), quien prosigue con la selección de maíces hacia mayor PE, realizando selección recurrente para incrementar los genes que condicionan el carácter doble embrión; el autor concluye que el carácter es altamente heredable, señalando también que las dos plantas resultantes de las semillas con doble embrión son gemelas genéticamente idénticas en base a la reducida varianza fenotípica que presenta dentro de los pares de plantas.

Gómez (1983) continuó el programa de selección recurrente en la población de maíz doble embrión para incrementar la frecuencia del carácter, concluyendo que la frecuencia aumentó a 46.58% para el sexto ciclo de selección.

Espinoza *et al.* (1998) señalan que a partir de 1992, la población base de gemelas se dividió en dos sub-poblaciones: una de porte enano y la otra de porte normal, el manejo reproductivo aplicado en ellas es, desde

entonces, a través de cruzas fraternales con mezcla de polen. En un ciclo determinado, se seleccionan en campo de 200 a 300 familias de medio hermanos (FMH), las cuales se evalúan posteriormente bajo condiciones de invernadero, sembrando 50 semillas por FMH en cajas de germinación; las mejores 30 a 40 FMH con respecto a germinación y frecuencia PE son las familias que constituyen los progenitores del siguiente ciclo. Los autores señalan que la frecuencia PE tanto en enanas como normales llegó y superó 60% para 1996.

Estos autores también señalan que en 1995, a partir de cada una de las dos poblaciones de alta PE (enana y porte normal) iniciaron un proceso de selección reversa, generando así dos sub-poblaciones en proceso de reducción de la PE, y que constituyen los grupos control de los de alta PE.

Siguiendo el proceso de selección directa y reversa en las sub-poblaciones del IMM-UAAAN, Espinoza y Vega (2000) informan que en el periodo 1995 a 2000 la selección a favor de la PE tiene ganancia entre 2 y 3% por ciclo, mientras que la selección reversa (en contra de la PE) lleva a los grupos a frecuencias PE menores de 6%, agotando prácticamente la condición PE en ellas; este comportamiento asimétrico en la respuesta a la selección es común en casos como el que se aborda. Es relevante en que las poblaciones enana y normal selectas para alta PE pasan de 55 a una frecuencia de 65% en ese periodo.

Un estudio de combinación de germoplasma PE con una fuente no poliembriónica (No-PE), indica un enmascaramiento del fenómeno PE en la F₁ de la combinación de las poblaciones poliembriónicas (NAP y BAP del

IMM.UAAAN) con la población Tuxpeño-HOC de CIMMYT (González *et al.*, 2006). Continuando con esta línea experimental Espinoza *et al.*, (2008) informan sobre los probables mecanismos genéticos que intervienen en la expresión de la PE; al analizar las frecuencias de PE observada en F₂ y RC₁ encontraron que la frecuencia de PE no se ajusta a la esperada en el caso de un gen recesivo.

Un informe posterior sobre el fenómeno de PE lo hacen Musito *et al.*, (2008) quienes trabajaron con líneas S₁ derivadas de la población PE NAP, y encontraron que la endogamia de las líneas S₁ redujo los valores de las características evaluadas y no produjo incremento en la poliembrionia.

Por otro lado Espinoza *et al* (2012), al realizar un estudio histológico de radícula de tres días post-germinación, con dos poblaciones poliembrionicas IMM-UAAAN-NAP y IMM-UAAAN-BAP, y su combinación con la población Tuxpeño-HOC de CIMMYT; el autor encontró que la frecuencia de PE y de radículas múltiples (dos o más raíces por semilla) se presentó en el orden de 60 y 14 % respectivamente; mas esta característica se vio enmascarada en híbridos F₁ con Tuxpeño, manifestándose de este modo la PE como un carácter recesivo. También informa, sobre al menos tres diferentes versiones de radículas múltiples individualizadas o con cierto grado de fusión exclusivos de genotipos PE.

Las características químicas del grano de las poblaciones poliembrionicas IMM-UAAAN-NAP, y BAP para contenidos de grasa cruda (GC) en semillas completas, mostraron una media general de GC= 6.2 % (Valdez, 2005); y 7.0 % (González, 2011), esto puede atribuirse a que la

poliembrionia tiene una correlación positiva con concentración de lípidos en el grano.

La superioridad cuantitativa en GC de los maíces PE puede ser también cualitativa al incluir más lípidos de origen embrionario por la condición de que 65 % de los granos de una mazorca tienen dos o más embriones (González *et al.*, 2006 y 2008). Esto permite suponer que la selección a favor de poliembrionia favorece de manera indirecta incrementos en la calidad de grano, condición que podría aprovechar en el diseño de nuevas variedades de maíz poliembriónicos, que combinen alto rendimiento y calidad.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Localizacion del Area de Estudio

Los análisis químicos para grasa cruda, así como los ácidos grasos oleico y linoleico en harina de granos de maíz, se realizaron en el laboratorio de Nutrición Animal y Alimentos, División de Ciencia Animal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicado en Buenavista, Saltillo, Coahuila.

3.2. Material Genético

En este estudio se evaluaron 7 genotipos de maíz (*Zea mays* L.), teniendo como base a dos poblaciones, una de porte enano y de alta frecuencia poliembriónica (PE) generada por el Instituto Mexicano del Maíz “Dr. Mario E. Castro Gil” de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, denominada IMM-UAAAN-BAP (en lo sucesivo D), la cual ha sido mejorada por selección recurrente de 1973 a 1991 y por medio de cruza fraternal con mezcla de polen de 1991 a la fecha (Espinoza *et al.*, 1998, González *et al.*, 2008). La otra población básica utilizada es la Tuxpeño-HOC, de alto contenido de aceite (AA), proporcionada por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) (en lo sucesivo E). Tomando como testigos a la población de porte normal IMM-UAAAN-NAP (En lo sucesivo C) y al híbrido trilineal AN-447, que representa al maíz común. También se utilizaron tres genotipos que incluyen la entremezcla de germoplasma PE:AA en 3 diferentes dosis a partir de las poblaciones bases ya mencionadas. Cada uno de los genotipos se evaluaron en dos repeticiones haciendo un total de 14 muestras (Cuadro 3.1).

Cuadro 3.1. Descripción de los genotipos de maíz bajo estudio con diferentes dosis de germoplasma de poliembrionia y alto contenido de aceite, cada uno con sus respectivas repeticiones.

| GENOTIPO | DOSIS(% PE:AA) | IDENTIFICACION | REPETICIONES |
|--------------|----------------|----------------|--------------|
| E | 0 :100 | 1 | R1 |
| E | 0 :100 | 2 | R2 |
| D | 100 : 0 | 3 | R1 |
| D | 100 : 0 | 4 | R2 |
| C | 100 : 0 | 5 | R1 |
| C | 100 : 0 | 6 | R2 |
| AN-447 | 0:0 | 7 | R1 |
| AN-447 | 0:0 | 8 | R2 |
| Cn 1:2 (D:E) | 37.5 : 62.5 | 9 | R1 |
| Cn 1:2 (D:E) | 37.5 : 62.5 | 10 | R2 |
| Cn 2:1 (D:E) | 62.5 : 37.5 | 11 | R1 |
| Cn 2:1 (D:E) | 62.5 : 37.5 | 12 | R2 |
| Cn 1:1 (D:E) | 50 : 50 | 13 | R1 |
| Cn 1:1 (D:E) | 50 : 50 | 14 | R2 |

E= Tuxpeño Alto Aceite (Población base); D= (BAP) Braquítica de Alta Poliembrionia (Población base); C= Normal de Alta Poliembrionia (NAP); AN-447= Híbrido comercial del IMM-UAAAN; Cn 1:2, Cn 2:1, Cn 1:1 Combinaciones de germoplasma PE:AA a diferentes dosis a partir de las poblaciones base; R1 y R2= Repeticiones 1 y 2 respectivamente de cada muestra.

3.3. Variables de estudio

- Por ciento de grasa cruda (GC). A través del método Soxhlet.
- Por ciento de los ácidos grasos oleico (OL) y linolèico (LN). Por medio de cromatografía de gases.
- Relación oleico /linolèico (OL/LN), cociente de los ácidos grasos.

Las determinaciones de grasa cruda, así como los contenidos de ácidos grasos (oleico y linolèico) fueron analizados a partir de muestras de 250 g de semilla, obtenida como muestra aleatoria de cada población y combinación de germoplasma; de aquí se tomaron las cantidades adecuadas para moler, obtener la harina y pesar la muestra específica, propia de cada procedimiento.

3.4. Procedimiento experimental

3.4.1. Obtención de la harina de maíz

a) Molienda. A partir de las muestras de 250 g de semilla, se tomaron cantidades adecuadas para formar dos repeticiones de cada población para obtener en total 14 muestras. La harina se obtuvo moliendo cada muestra en un Molino Thomas - Willey, modelo 4 con malla de 2 mm.

b) Cribado. Una vez obtenida la harina de cada muestra, se procedió a cribar la harina con un tamiz de 1 mm, con la finalidad de obtener una harina más fina y facilitar la extracción de la grasa cruda de cada población, se pesó la cantidad de harina resultante de cada muestra específica y se guardó en frascos de vidrio previamente etiquetados de manera precisa.

3.4.2. Extracción de grasa cruda de la harina del maíz.

La extracción de la grasa cruda de la harina de las diferentes muestras de maíz se hizo mediante el método de percolación en el porta muestra del equipo Soxhlet; para esto se pesaron 9 g de cada muestra de harina de maíz obtenidas en el paso anterior en una balanza analítica, los cuales se colocaron en papel filtro Wathman 41, dentro de un dedal de celulosa, y todo esto se colocan en un sifón; Por otro lado en un matraz bola previamente pesado y esterilizado, se añaden 250 ml de hexano. En seguida se inserta el sifón con la muestra unido al matraz al Soxhlet. El matraz se calienta a una temperatura de 34° a 36° C. El proceso de extracción se efectuó durante 12 horas continuas a

temperatura constante (Figura 3.1). Al cabo de este tiempo se evapora y recupera el hexano contenido en el matraz, en seguida se introdujo en una estufa a una temperatura de 60 ° C por 24 h. Finalizado ese tiempo, se retira y se enfrían en un desecador y se pesa. El por ciento de grasa cruda se calcula mediante la siguiente fórmula:

Por ciento de grasa cruda = $(\text{Peso del matraz} + \text{muestra}) - (\text{Peso del matraz solo}) / \text{g de muestra} \times 100$. (Bernardini, 1981).



Figura 3.1 Extracción de grasa cruda por método Soxhlet

3.4.3. Extracción y cuantificación de los ácidos grasos Oleico y Linoleico.

a) Extracción de los triglicéridos del aceite del maíz. Se pesaron 195 mg de aceite de las muestras mencionadas en el procedimiento anterior, se suspendieron en 10 ml de agua destilada y 30 ml de la mezcla extractora cloroformo: metanol (2:1) previamente preparada en un matraz. La mezcla se vació y agito intensamente durante 60 segundos en un embudo de separación y se dejó reposar hasta la separación de las dos fases (Figura 3.2). Se recuperó en un matraz la fase inferior (orgánica), que es la fase que contiene los lípidos del aceite y se desechó la fase superior.



Figura 3.2. Extracción de triglicéridos del aceite de maíz

b) Hidrólisis de triglicéridos hasta ácidos grasos y esterificación del ácido graso en éter metílico. Esta se realiza en el producto obtenido de fase orgánica extraída en el procedimiento anterior. Para esto, el extracto contenido en el

c) Cuantificación de ácidos grasos mediante cromatografía de gases.

El análisis de ésteres metílicos de los ácidos grasos del grano de maíz se realizó en un equipo Perkin Elmer Autosistem XL, con una columna capilar EC-1000 (30m x 0.32mm x 0.25 mm) de alta polaridad empacada de polietilen glycol con modificación ácida. Se empleó una rampa de temperatura programada iniciando en 90 °C y mantenida por 3 minutos, primera rampa incrementando de 90 a 120 °C y una segunda rampa de 120 a 240 °C en 15 minutos y se mantuvo hasta 36 minutos con esta última temperatura, por corrida. Se utilizó un detector de ionización de flama (FID) a una temperatura de 260° C, y un puerto de inyección a una temperatura de 250° C. Los picos que se obtuvieron en los cromatogramas (Fig.3.4) se identificaron por el tiempo de retención de los estándares los cuales son ésteres metílicos de los ácidos grasos oleico y linoleico. Para esta investigación en específico se utilizaron los estándares de ácidos grasos: Oleic Acid Methyl Ester y Linoleico Acid Methyl Ester de la marca Ultra Scientific; de 100 mg cada uno, con una pureza de 99+%.

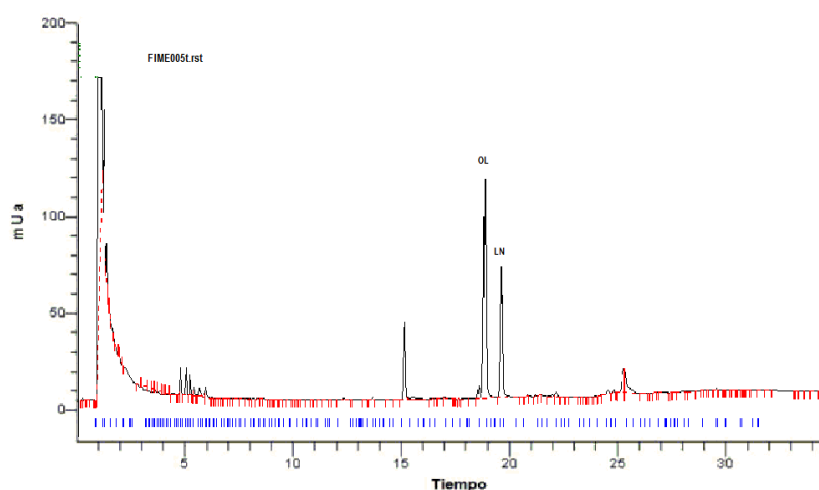


Figura 3.4. Cromatograma de ácido Oleico y Linoleico

3.5. Calibración de los estándares de los ácidos grasos Oleico y Linoleico.

Para los dos estándares se hicieron diluciones de 1000, 2000 y 3000 ppm y se inyectaron al cromatógrafo para obtener las áreas y tiempos de retención, resultando la información para hacer las curvas de calibración (Figuras 3.5 y 3.6). Esta referencia es necesaria en las lecturas de inyección de las muestras, y con ello obtener las ecuaciones para el cálculo del contenido de cada ácido graso. Las ecuaciones para el cálculo de los ácidos grasos Oleico y Linoleico fueron: $X = (y - 125765)/2000.7$ y $X = (y + 205908)/1903.4$ respectivamente.

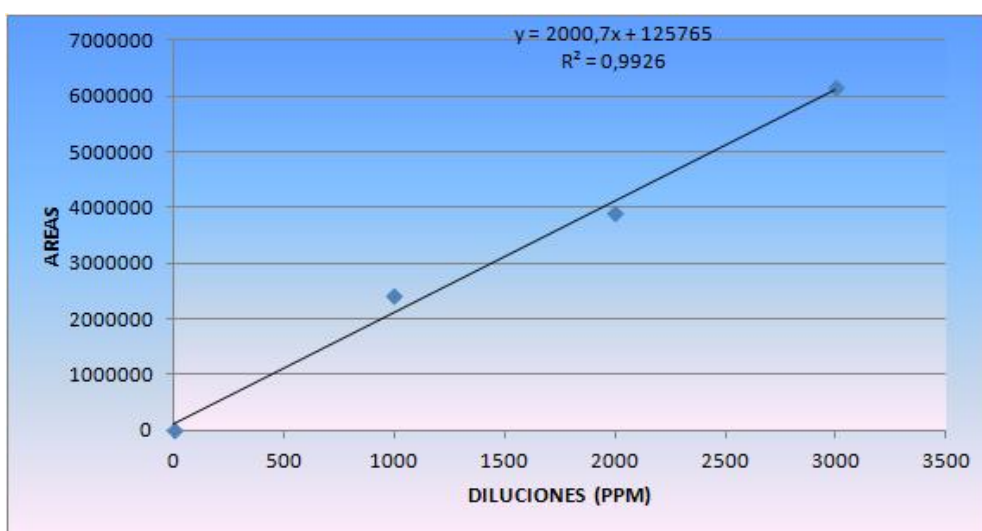


Figura 3.5. Curva de calibración para el estándar del ácido Oleico

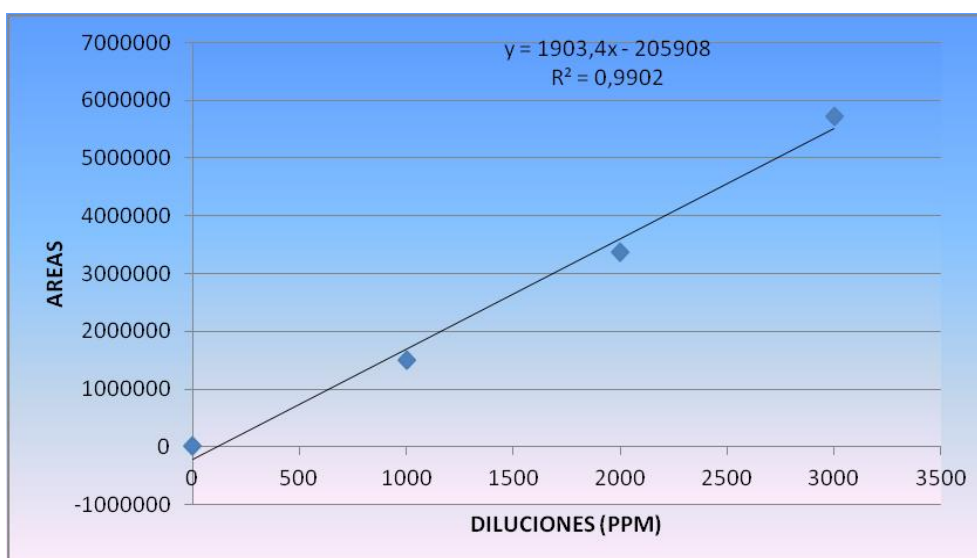


Figura 3.6. Curva de calibración para el estándar del ácido Linoleico.

3.6. Diseño y Analisis estadístico

Los analisis quimicos de los materiales fueron manejados en un diseño completamente al azar, 7 tratamientos, 2 repeticiones; los datos se analizaron estadisticamente bajo el siguiente modelo (Steel y Torrie ,1988).

Modelo estadístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = i-j esima observación

μ = Efecto de la media general

T_i = i-esimo tratamiento

E_{ij} = Error experimental

Los análisis de varianza y pruebas de medias, se realizaron mediante el paquete estadístico SAS Versión 9.0 (2002), correspondiente a PROC GLM, con un modelo variable = tratamientos. La prueba de medias de Tukey $\alpha=0.5$ fue aplicada en casos de diferencias estadísticas de los genotipos.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados, con el tipo de análisis descrito arriba, así como la discusión generada al respecto, se presentarán por variables y en dos partes. En la primera parte se hará el análisis de varianza específica de la variable GC, mientras que en la segunda parte se presentará el ANVA de las variables (OL, LN). De manera similar a la descrita anteriormente, se muestran las pruebas de medias respectivas de las variables (GC) y (OL, LN, OL/LN); cabe señalar que todas las variables se analizaron en cada una de las 7 poblaciones con la finalidad de detectar y explicar las diferencias de dichas variables en cada población.

Es importante mencionar que la variable resultante del cociente entre los dos ácidos grasos (OL/LN), aunque importante en el análisis de estos resultados, no se llevó a cabo ya que los valores obtenidos no respondieron adecuadamente (normalidad) a ninguna transformación, sea ésta $\sin^{-1} \sqrt{x}$ y $\sqrt{x + 0.5}$, por lo tanto no se les aplicó la técnica del ANVA.

Por ciento de grasa cruda (GC)

El análisis de varianza para la variable GC (Cuadro 4.1), realizado en todos los genotipos utilizados en el experimento, detectó diferencias altamente significativas ($P \leq 0.01$), lo que indica que las poblaciones (Genotipos) bajo estudio son diferentes en cuanto a contenidos de GC, comparadas entre sí y contra los testigos.

Cuadro 4.1. Análisis de varianza para grasa cruda (GC). Análisis químico 2011.

| F.V | G.L | SC | CM | F calculada | Pr > F |
|-------------------|-------|--------|-------|-------------|--------|
| Genotipos | 7 | 24.426 | 4.071 | 39.52 | <.0001 |
| Error | 6 | 0.7186 | 0.103 | | |
| Total | 13 | 25.144 | | | |
| C.V | 5.094 | | | | |
| \bar{X} General | 6.290 | | | | |
| R ² | 97 % | | | | |
| \sqrt{CME} | 0.32 | | | | |

Con base a la prueba de medias de tratamientos y testigos (Figura 4.1), puede observarse que el genotipo Tuxpeño-HOC (E), fue superior a todas las demás poblaciones en cuanto al contenido de grasa cruda, así mismo el más bajo fue el testigo. Los resultados ratifican la condición de estos materiales en su diseño natural o mejorado, el maíz común presenta normalmente de 3.5 a 4.5 % de GC (Paliwal *et al*, 2001) mientras que el genotipo E fue mejorado para niveles de 8 a 9 %. (González, 2009; Valdez, 2005).

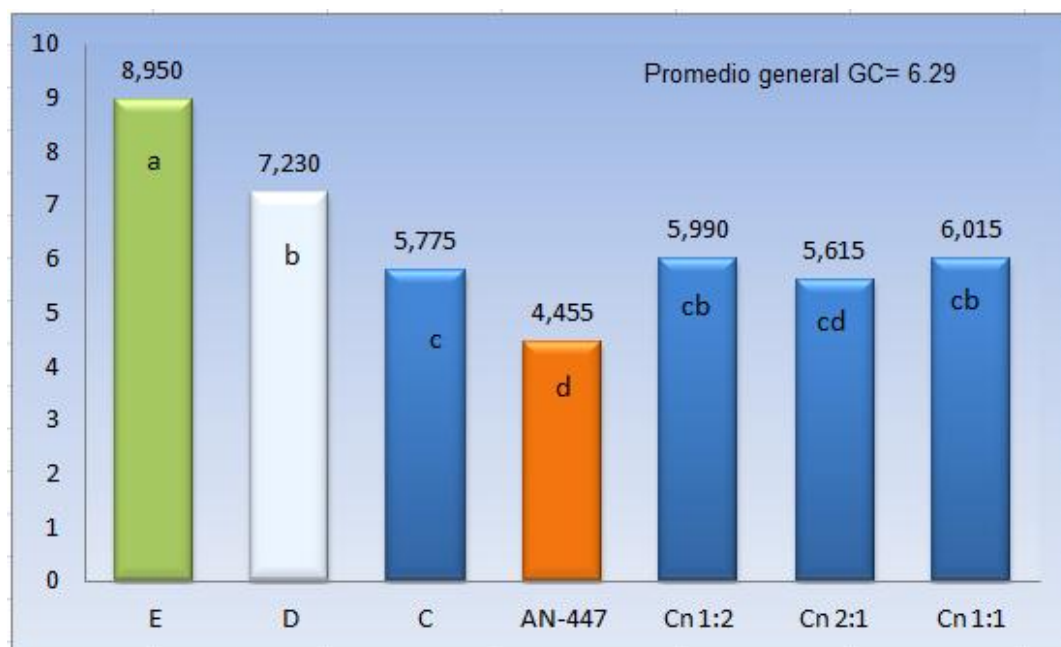


Figura 4.1. Respuesta del contenido de GC (%) en genotipos de maíz, comparadas con las poblaciones bases (D y E) y el testigo (AN-447). D= Población Braquítica de Alta Poliembriónia (BAP), E= Población Tuxpeño de Alto Aceite, C= Población Normal de Alta poliembriónia (NAP), Cn (1:2, 2:1,1:1)= Combinaciones a diferentes dosis de germoplasma de D y E. Barras con diferente literal son estadísticamente diferentes.

El análisis comparativo entre las poblaciones bases que representan los extremos, por un lado el tuxpeño alto contenido de aceite, por el otro lado la población BAP (D) que es la variedad de alta poliembrionia (PE), y tomando como referencia al testigo (AN-447) como representante del maíz común. Puede observarse claramente que las poblaciones bases (Tuxpeño y BAP) superan a el AN-447 en 97 %, y 62 % respectivamente, y que el genotipo BAP se encuentra tan sólo por debajo del tuxpeño en un 24 %. La otra población poliembriónica (NAP) fue también superior al testigo, pero en un monto menor (30%). De hecho, en los datos de este trabajo se aprecia una disminución (de 20 a 25 %) en contenido de GC de C con respecto a D, lo cual pudiera deberse a efectos de muestreo, ya que de manera ordinaria el monto de GC en ambos es técnicamente igual, con valores que van de 5.5 a 6 % (Valdez, 2005; González, 2009).

También puede observarse que los genotipos generados a partir de la combinación germoplasmica de las dos fuentes (BAP – Tuxpeño), muestran una superioridad que va de 25 % a un 30% sobre el testigo. Esto puede atribuirse a que la poliembrionia está asociada con una mayor concentración de lípidos en el grano que el maíz común.

Existen antecedentes que ubican a los maíces poliembriónicos de este trabajo que son superiores al maíz común en al menos 20 % de grasa cruda; esto ha sido corroborado por Valdez (2005), al resaltar la superioridad de los maíces PE en grasa al maíz común en un 33 % en un estudio de

caracterización química del grano de poblaciones poliembriónicas del IMM-UAAAN.

En esta investigación se obtuvo una media general de 6.29 %. Por otro lado González (2011) obtuvo una media de 7.00 % de GC en su estudio de caracterización de grupos germoplásmicos de maíz, poliembriónicos y alto aceite. Como puede verse existe una diferencia notable (0.71 %) en el porcentaje de esta variable, las discrepancias al comparar dichos resultados pueden deberse al efecto de muestreo de las harinas y condiciones que no se pueden controlar en el laboratorio.

Por otra parte, Thomison y Geyer (2000) realizaron un estudio donde compararon maíces especializados en alto contenido de aceite (High Oil TC Blends) de diversos tipos y orígenes contra maíces convencionales o híbridos normales en 2 lugares experimentales de Ohio, USA (Hoytville y S. Charleston), con resultados en contenido de aceite de 7.1 % en promedio para ambos sitios en los TC Blends y 4.05 % para los híbridos normales. Dichos resultados permiten ubicar a los maíces poliembriónicos con contenidos de GC comparables a los maíces especializados, y claramente superiores al maíz común.

Por ciento Oleico, Linoleico, relación Oleico: Linoleico (L, LN, OL/LN).

Los análisis de varianza para las variables OL y LN aparecen en el Cuadro 4.2. Aquí se puede apreciar que no existen diferencias entre los genotipos ($P \geq 0.05$) para estas variables.

Cuadro 4.2. Cuadrados medios para las variables OL, LN.

| Variable | F.V | CM | Fcal | Prob | R ² | CV | \sqrt{CME} | Media general |
|-----------|-----|-------|------|-------|----------------|------|--------------|---------------|
| Oleico | Gen | 11.59 | 3.05 | 0.085 | 72 % | 13.8 | 1.95 | 6.18 |
| Linoleico | Gen | 12.33 | 0.99 | 0.495 | 46 % | 27.7 | 3.52 | 5.18 |

Sin embargo al observar la jerarquización de las medias de las variables OL, LN, incluyendo los promedios de la variable OL/LN (Cuadro 4.3), con el fin de ilustrar tendencias que siguen dichas variables, puede apreciarse una tendencia generalizada en la superioridad de contenidos de ácido oleico sobre el linoleico; de hecho, el genotipo E presenta la menor relación OL/LN, esto no es novedad en estudios de este tipo ya que Valdez (2005) señala la superioridad de D sobre E con respecto a este cociente..

Cuadro 4.3. Comparación de medias por genotipo para las variables OL, LN y OL/LN.

| GENOTIPO | OL (g/L) | LN (g/L) | OL/LN |
|-------------------|-------------|-------------|-------|
| E | 9.44 | 8.81 | 1.07 |
| D | 4.06 | 4.04 | 1.25 |
| C | 6.19 | 4.93 | 1.26 |
| AN-447 | 5.56 | 4.30 | 1.29 |
| Cn 1:2 | 8.16 | 6.25 | 1.31 |
| Cn 2:1 | 4.21 | 3.28 | 1.28 |
| Cn 1:1 | 5.63 | 4.63 | 1.22 |
| \bar{X} GENERAL | 6.18 | 5.18 | 1.24 |
| DESV. ESTANDAR | 2.16 | 2.44 | 0.08 |

OL, LN, OL/LN= Oleico, Linoleico y Cociente Oleico: Linoleico respectivamente; E= Población Tuxpeño de Alto Aceite, D= Población Braquítica de Alta Poliembriónia (BAP), C= Población Normal de Alta poliembriónia (NAP), AN-447= Híbrido comercial del IMM-UAAAAN; Cn (1:2, 2:1,1:1)= Combinaciones a diferentes dosis de germoplasma de D y E.

Las medias señalan que la población Tuxpeño-HOC, como era de esperarse por su superioridad en porcentaje de GC, presentó mayores contenidos de los ácidos graso OL y LN, pero también una relación OL/LN inferior a la que muestran el resto de los genotipos poliembriónicos. Aunque en promedio C y D presentaron un monto 50 % en el contenido de estos ácidos, el cociente OL/LN fue positivo y 25 % a favor del contenido de ácido OL, lo cual los presenta como materiales con valor industrial para la extracción de Oleico (FEDOL, 2012).

Valdez (2005), reporta algo similar, pero estadísticamente validado, al realizar un análisis bromatológico en las poblaciones poliembriónicas BAP y NAP del IMM-UAAAN. En su trabajo obtuvo una relación de ácidos grasos Oleico/Linoleico de 0.98 en promedio, calidad que fue estadísticamente superior al 0.86 presentada por el genotipo Tuxpeño-HOC. Si los resultados del presente trabajo pudieran validarse en un análisis químico subsecuente y se ratificara la superioridad del oleico sobre el linoleico (Cociente mayor de 1.0), pudiera ser una evidencia más de la superioridad que causa el proceso selectivo de estas poblaciones (Espinoza *et al.*, 1998; Espinoza y Vega, 2000).

Así mismo, las poblaciones que resultaron de la mezcla de germoplasma (D y E) a diferentes dosis (Cn 1:2, Cn 2:1, Cn 1:1), presentan en promedio contenidos para las variables OL y LN de 6.00 y 4.72 g/L respectivamente, y el cociente OL/LN indica que se tiene de 22 a 31 % más de aceite OL que LN, en todos los casos superiores a su progenitor E, y en algunos casos superiores a su progenitor D.

Por otra parte, el híbrido AN-447 del IMM-UAAAN, y que en este estudio se tomó como el representante del maíz común, presentó niveles buenos de ácido Oleico y Linoleico (5.56 y 4.30 g/L) respectivamente, por lo que la relación OL/LN indica una presencia de 29 % más del Oleico que Linoleico, condición que también lo coloca como apreciable para la industria de obtención de oleico.

Todos los genotipos poliembriónicos utilizados en esta investigación presentaron aceptables niveles de Oleico, y en todos los casos superiores al contenido de Linoleico, lo cual les confiere una mayor calidad nutricional. Generalmente se acepta el aceite de maíz como de alta calidad cuando el contenido de AG es superior al maíz común, por lo que puede mejorarse la calidad del aceite por el incremento en la concentración de ácido Oleico (Wassom *et al.*, 2008).

V. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación permiten señalar que el análisis de grasa cruda para los 7 genotipos bajo estudio, arrojaron resultados que muestran con claridad la superioridad en contenido de grasa cruda para las poblaciones poliembrionicas comparadas con el maiz comun, mientras que sus valores son cercanos a los presentados por la poblacion Tuxpeño, población especializada en alto contenido de aceite.

También, puede atribuirse que la poliembrionia está asociada con el contenido de lípidos del maíz, y presentan una tendencia superior en cuanto al contenido de ácidos grasos oleico y linoleico, que son de importancia nutricional, por lo que la hibridación de maíces poliembriónicos con maíces de alto contenido de aceite puede incrementar la calidad nutricional del grano de maíz.

V. BIBLIOGRAFIA

- Aragón, C., F. 2006. Nueva población de teocintle en Oaxaca Resúmenes del XXII Congreso Nacional y I Internacional de Fitogenética, Sociedad Mexicana de Fitogenética, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. P. 115.
- Bennetzen, J., E. Buckler, V. Chandler, J. Doebley, J. Dorweiler, B. Gaut, M. Freeling, S. Hake, E. Kellogg, R.C. Poethig, V. Walbot, and S. Wessler. 2001. Genetic evidence and the origin of maize. *Latin Amer. Ant.* 12(1):84-86.
- Bernardini E. 1981. Tecnología de aceites y grasas. Ed. alhambra. España 72-94.
- Castro, G. M. 1973. Incremento del carácter doble embrión. Boletín Técnico No. 1 Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro. Buenavista. Saltillo Coah. Mèx. pp.47.
- Castro, G. M. 1979. Estudio sobre herencias y valores nutritivos de semillas con doble embrión, Avances de investigación en maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista. Coah. Mèx. pp. 24-25.
- Castro, G., M. 1979. Estudio sobre herencias y valores nutritivos de semillas con doble embrión. Avances de investigación en maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, pp. 24-25.
- Coutiño, E.B., A. Ortega C., V.A. Vidal M., G. Sánchez g., S.I García A. 2008. Selección recurrente para incrementar el contenido de aceite en maíz comiteco. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 31 (3): 5 – 8.
- Dale, N. 1997. Ingredient Analysis Table. *Feedstuffs-Reference Issue.* Vol. 69 Num. 30: 24-31.
- Doebley, J.F. 1990a. Molecular evidence and the evolution of maize. *Econ. Bot.* 44(supplement):6-27.
- Dowswell, C.D., Paliwal, R.L. & Cantrell, R.P. 1996. *Maize in the third world.* Boulder, CO, USA, Westview Press.

- Erdelska, O., 1996. Cleavage polyembryony *in vivo* and *in vitro*. Acta Botanicorum Poloniae TOM 65 (1-2) CTOP. 001 123-00125.
- Espinoza V., J. y M.C. Vega S. 2000. Maíces de alta frecuencia poliembriónica.
- Espinoza, J., M.C. Vega, E. Navarro, G.A. Burciaga. 1998. Poliembriónica en maíces de porte normal y enano. Agronomía Mesoamericana. 9(2):83-88.
- Espinoza V. J., V.M. González V., J. J. Valdez R., J.M. Alcalá R. 2012. Morfología y anatomía de radículas múltiples en plántulas de maíz derivadas de cariopsis con poliembriónica. Rev. Polibotánica. Núm. 33, pp. 207-221. ISSN 1405-2768; México, 2012.
- Espinoza, V. J., Valdez L.L., González V.V.M., Musito R. N., Gallegos S.J.E., Sánchez L. J., Villareal C. A. G., Alcalá R. J. M. 2008. Estudios Genéticos Sobre la Poliembriónica en Maíz. Análisis Retrospectivo. In: Libro Científico Anual Agricultura, Ganadería y Ciencia Forestal UAAAN-2006. ISBN-978-968-844-059-9. Pp2-8. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Espinoza, V.J., Ma. C. Vega S., D. Jasso C. 1999. Contenidos de grasa y proteína cruda en semillas de maíces poliembriónicos. En: Espinoza V., J y J. del Bosque Celestino (eds). 1999. "Memoria del 2do. Taller Nacional de Especialidades de Maíz. P 159-165. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- European Food Safety Authority (EFSA). 2005. Opinion of the scientific Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to nutrition claims concerning omega-3 fatty acids, monounsaturated fat, polyunsaturated fat and unsaturated fat. The EFSA Journal 253, 1-29. http://www.efsa.europa.eu/cs/BlobServer/Scientific_Document.

- FAOSTAT, estadísticas para México, 2010. Base mundial de producción mundial y comercio internacional de maíz. FAO, Roma.
- FEDIOL (Federación Industrial Europea de Aceites y Proteínas Vegetales). Febrero 2012. www.fediol.be/.
- Feed&Grain. 1998. La influencia del maíz alto en aceite en los alimentos para aves. Revista para fabricantes de alimentos balanceados, operaciones integradas y procesadores de grano. pp. 4-7.
- Galinat, W.C. 1988. The origin of corn. In G.F. Sprague & J. W. Dudley, eds. Corn and corn improvement, 3rd ed., p. 1-31. Madison, WI, USA, American Society of Agronomy.
- Gómez, J. R. 1983. Estudio sobre herencia y valor nutritivo de semilla de maíz con doble embrión. Avances de investigación en maíz. Instituto Mexicano del Maíz Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo Coah, Méx.
- Gonzales, V. V. M, Espinoza V. J., Mendoza V. R., Alcalá R. J. M. 2008. Hibridación entre poblaciones de maíces poliembriónicos y de alto aceite: II. Calidad nutrimental de grano. Memoria del XXII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética, SOMEFI. Chapingo, México. pp 359.
- Gonzales, V. V. M, Espinoza V. J., Musito R., y J.E. Gallegos S. 2006. Hibridación varietal entre maíces poliembriónicos y de alto aceite: I. Comportamiento en plántula. Memoria XXI. Congreso Nacional I Internacional de Fitogenética de SOMEFI. Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México. P: 158.
- González V. V.M. 2009. Formación y caracterización de grupos germoplasmicos de maíz, poliembriónicos y alto aceite. Tesis de doctor en ciencias en Fitomejoramiento, UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 69 p.
- Hallauer, A. R., and J. B. Miranda. 1981. Quantitative Genetics in maize Breeding. Ed. Ames, Iowa, U.S.A. The Iowa States University Press. pp. 14.

- Heerwaarden J.V, Doebley J., William H.B., Jeffrey C.G., Major M. G., Jose J. Sanchez G. and Jeffrey R. I. 2011. Genetic Signals of origins, spread, and Introgression in a large sample of maize landraces. PNAS. Vol. 108 (3).
- Josh Strable and Michel J. Scanlon. 2009. Maize (*Zea mays*): A Model Organism for Basic and Applied Research in Plant Biology. <http://cshprotocols.schlp.org/content/2009/10/pdb.emo132.full>.
- Kato, T.A., C. Mapes, L.M. Mera, J.A. Serratos, R.A. Bye. 2009. Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 116 pp. México, D.F.
- Lambert, R.J. 2001. High-oil hybrids. *In* A.R. Hallauer (ed) Specialty Corns. CRC Press, Boca Raton, FL. Pp. 131-154.
- Lehninger, A. 1978. Principios de Bioquímica. Ed. Omega. España.
- Mangelsdorf, P.C., Wellhausen E.J., 1992. Razas de Maíz de México. Su origen, Características y distribución. Folleto Técnico No. 5, Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería. México, D.F. 273 pp.
- Martinez, G.P. and T.M. Gradziel. 2003. Sexual polyembryony in almond. *Sex Plant Reprod* 16: 135 – 139.
- Musito, R.N., J. Espinoza V., V.M. González V., J. E. Gallegos S., H. De León C. 2008. Características de plántulas en familias derivadas de una población de maíz poliembrionario. *Rev. Fitotec. Mex.* Vol. 31 (4): 399-402.
- Olivo, M., P. Alarcón-Cháires y L. Solís. 2001. Los pueblos del maíz, nomenclatura indígena de una planta sagrada. *Etnoecológica* 6(8):103-106.
- Ortega Paczka, R. 2003. La diversidad del maíz en México. *In* Esteva G., y C. Marielle (Coordinadores). Sin Maíz no hay País. Consejo Nacional

para la Cultura y las Artes, Dirección General de Culturas Populares e Indígenas, México, D. F. pp. 123-154.

Paliwal, R.L., H.R Lafitte., G. Granados., A.D. Violic. 2001. El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Pesev, N.R and Petrovic, L. 1976. Study of possibility in raising maize inbred lines with two embryos. Theoretical and Applied Genetics 47: 197–201.

Poehlman J. M., y S. D. Allen. 2003. Mejoramiento Genético de las Cosechas. 2a ed. Editorial LIMUSA. México, D.F. 511 p.

Rebolloza, H.E., J. Espinoza V., D. Sàmano G., V.M. Zamora V. 2011. Herencia de la Poliembrionia en dos poblaciones experimentales Características de plántulas en familias derivadas de una población de maíz poliembrionico. Rev. Fitotec. Mèx. Vol. 34 (1): 27-33.

Roberts, L.M., U.C. Grant, R. Ramirez E., W. H. Hatheway, and D.L. Smith, in collaboration with P .C. Mangelsdorf. 1957. Races of maize in Colombia. National Academy of Sciences-National Research Council Publication 510.Washington, D. C. pp. 1-153.

Robles S. R. 1990. Producción de Granos Y Forrajes. Ed. Limusa, S.A. de C.V.,5 Ed. México –España –Colombia. P.559p.

Rodríguez, H. S. 1981. Determinación de la heredabilidad y efectos de la selección para el carácter doble embrión en maíz (*Zea mays* L.) Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. Mèx. pp.48.

Rodríguez, H.S y Castro, G.M.E. 1978. Estudio sobre herencia de semilla con dos embriones. Avances de investigación en maíz. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp.19.

SAS Versión 9.0. 2002. SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

- Steel, G. D. and JH Torrie. 1988. Principles and Procedures of Statistics. McGraw-Hill, New York. USA.
- Thomison P.R. and A.B Geyer. 2000. Evaluation of Specialty Corns for Value Added Grain Production. Dept. of Horticulture and Crop Science, Ohio State University.
- Thomison P.R., A.B. Geyer, L.D. Lotz, H.J. Siegris, and T. L. Dobbels. 2003. TopCross high oil corn production: Select grain quality attributes. *Agron. J.* 95:147-154.
- Trease G. E. and Willia C. E. 1982. *Farmacognosia*. Ed. Alhambra, México, pag 720-727.
- V.M. González V., J. Espinoza V., H. De León C. MA Torres-Tapia. 2011. Caracterización de germoplasma de maíz que combina un alto contenido de aceite y poliembrionia. *Rev. Universidad y Ciencia. Mèx.* Vol. 27. Numero 2.
- Valdez, L.E.L. 2005. Ganancia en calidad nutrimental del grano como respuesta asociada a la selección para poliembrionia en maíz. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. Mèx. 92 pag.
- Valdez, L.E.L., J. Espinoza V., A.F. Aguilera C., M.L. Reyes V. 2004. Fatty acids in polyembryonic maize. *Book of Abstract. Institute of Food Technologist 2004 Annual Meeting. Las Vegas, Nevada. July 12-16, 2004. P 294.*
- Wassom JJ, Mikkeleni V, Bohh MO, Rocheford TR. 2008. QTL for fatty acid composition of maize kernel oil in Illinois High Oil x B73 backcross-derived lines. *Crop Sci.* 48: 69-78.
- Webber, J. M. 1940. Polyembryony. *The Botanical Review.* Vol. VI No. 1:575-594.
- Wilkes, H.G. 1985. Teosinte: the closest relative of maize revisited. *Maydica*, XXX: 209-223.
- Windstrom, N. W and Jellum, M. D. 1984. *Crop Sci* 24:1113-1115.

Wright, A. 1995. A gene conditioning high oleic maize oil. OLC1. *Maydica* 40:85-88.