



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
GENÉTICA**

**VALORACIÓN AGRONÓMICA  
MORFOLÓGICA Y BIOQUÍMICA  
DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER  
TALLOS GEMELOS**

**MA. LORENA MERAZ FONSECA**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2014**

---

La presente tesis, titulada: **VALORACIÓN AGRONÓMICA, MORFOLÓGICA Y BIOQUÍMICA DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS**, realizada por la alumna: **MA. LORENA MERAZ FONSECA**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

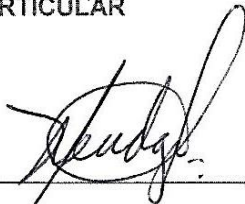
**MAESTRO EN CIENCIAS**

**RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**GENÉTICA**

**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. MA. DEL CARMEN MENDOZA CASTILLO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DRA. ADRIANA DELGADO ALVARADO

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. TAKEO ANGEL KATO YAMAKAKE

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero 2014

## AGRADECIMIENTOS

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** (CONACYT), por el financiamiento económico otorgado, para la realización de mis estudios de Maestría.

Al **Colegio de Postgraduados** y especialmente a los profesores del Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética, campus Montecillo, por compartirme sus conocimientos y experiencias.

A mí Consejo Particular: **Dra. Ma. del Carmen Mendoza Castillo, Dra. Adriana Delgado Alvarado** y al **Dr. Takeo Ángel Kato Yamakake**; por su apoyo y sugerencias para el desarrollo del trabajo de investigación.

A la Dra. Gricelda Vázquez Carrillo por facilitarme las instalaciones y equipo para la realización de los análisis bioquímicos.

A la Dra. Magdalena Crosby por su apoyo en la realización de los análisis bromatológicos.

A mis amigos de Genética, que siempre me apoyaron: Eddie, Sandra, Cristian, Lupita, Nery, Chio, Amado, Estely, César, Victoria, Héctor, Ana y Pablo.

Y especialmente a Dali por su apoyo y amistad.

# VALORACIÓN AGRONÓMICA, MORFOLÓGICA Y BIOQUÍMICA DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS

Ma. Lorena Meraz Fonseca, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2014.

El maíz (*Zea mays* L.) es el cultivo más importante de México y forma parte importante en la dieta de los mexicanos. Mediante mejoramiento genético, en el área de Fisiotecnia Vegetal del Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, se han desarrollado líneas ( $S_5$ ) de maíz con el carácter “Tallos Gemelos” (TG) (expresión de dos plantas, genotípica y fenotípicamente similares, que se forman de una semilla) a las cuales se les ha incrementado la frecuencia de este carácter; por ello, el objetivo del presente trabajo fue: Evaluar el comportamiento agronómico, morfológico y nutracéutico de líneas de maíz que poseen el carácter TG e identificar líneas prometedoras con alta frecuencia, vigor y calidad nutracéutica, que pudieran utilizarse como progenitores en la obtención de híbridos o variedades sintéticas de alto rendimiento y calidad. Para ello, el estudio se dividió en cuatro etapas: agronómica, expresión fenotípica de plántulas, y de semillas (morfología de embriones y componentes estructurales de la semilla) y bioquímica. En campo, las líneas TG fueron de floración intermedia, sincrónicas, de vigor y rendimiento mediano. También, en invernadero estas líneas presentaron alto porcentaje de emergencia, buen vigor de plántula y alta frecuencia de tallos gemelos. Se identificaron ocho tipos de expresión fenotípica en las plántulas con tallos gemelos, siendo el más frecuente el Tipo II. Asimismo, se tuvieron nueve tipos morfológicos de embriones gemelos y se observaron diferencias en el porcentaje de sus componentes estructurales; la biomasa de los embriones de las líneas TG fue proporcionalmente menor a la de los embriones de las poblaciones de tallos normales (10.7 Vs 12.4 %, respectivamente). Las líneas con el carácter tallos gemelos presentaron alto contenido de proteína (12 %), lo que les da calidad nutracéutica. De las 26 líneas con el carácter TG se identificaron 14 líneas prometedoras por sus características sobresalientes.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., componentes de rendimiento, vigor, plántulas, embriones gemelos, calidad de grano.

# AGRICULTURAL VALUATION, MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL OF CORN LINES WITH THE TWIN STALKS CHARACTER

Ma. Lorena Meraz Fonseca, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2014.

Maize (*Zea mays* L.) is the most important crop in Mexico because is the most important part of the Mexican diet. By genetic improvement in the area of Vegetal Physiology of the Genetic Resources and Productivity Program - Genetics, at the Colegio de Postgraduados, inbredlines (S<sub>5</sub>) of maize have been developed with the "Twin Stalks" character (TS) (expression of two plants being similar in genotype and phenotype, which are formed from the same embryo) and by selection the frequency of this character has been increased, so the aim of this study was: to evaluate the agronomic, morphological and nutraceutical performance of the inbred lines that have the Twin Stalks character and to identify promising lines with a high frequency of twin stalks, vigor and nutraceutical quality to be used as progenitors to obtain hybrids with high yield and grain quality. This work was divided into four stages: agronomic evaluation, phenotypic expression of seedlings and seeds (morphology of embryos and structural components of the seed were studied) and the biochemical evaluation. In the field, the lines TS were of intermediate-synchronous flowering, vigorous and of medium yielding. Also, these lines presented a high percentage of emergency, good seedling vigor and a high-frequency of twin stalks in greenhouse. We identified eight types of phenotypic expression in seedlings with twin stalks, being the most frequent the type II. Also, there were nine morphological types of twin embryos, and differences were observed in the percentage of their structural components. Furthermore, the biomass of the embryos of the TS lines was proportionally less than that one of the embryos from the population of normal stalks (10.7 vs 12.4 %, respectively). The TS lines showed the highest protein content (12 %), which gives them nutraceutical quality. Out of the 26 lines with the Twin Stalks character, fourteen were identified as promising ones by their outstanding performance

**Keywords:** *Zea mays* L., yield components, vigor, seedling, twin embryos, grain quality.

## CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivo General.....	11
1.2. Hipótesis Generales.....	11
1.3. Literatura Citada.....	12
<b>CAPÍTULO II. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS.</b>	
2.1. Resumen.....	16
2.2. Introducción.....	17
2.2.1. Objetivo.....	18
2.2.2. Hipótesis.....	19
2.3. Materiales y Métodos.....	19
2.3.1. Material genético.....	19
2.3.2. Manejo del experimento.....	21
2.3.3. Diseño experimental.....	22
2.3.4. Variables evaluadas.....	22
2.3.5. Caracterización de plantas con tallos gemelos.....	23
2.3.6. Análisis estadístico.....	25
2.4. Resultados y Discusión.....	26
2.4.1. Porcentaje de emergencia.....	26
2.4.2. Porcentaje de plantas con tallos gemelos.....	28
2.4.3. Valoración agronómica.....	30
2.4.4. Componentes del rendimiento.....	39
2.4.5. Comparación agronómica entre tipos de planta gemelas y no gemelas.....	52
2.4.6. Componentes del rendimiento.....	55
2.4.7. Comparación de líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos.....	59
2.5. Conclusiones.....	60
2.6. Literatura Citada.....	62
2.7. Anexos.....	64
<b>CAPÍTULO III. VALORACIÓN NUTRACÉUTICA DE SEMILLAS DE MAÍZ DE LÍNEAS CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS.</b>	
3.1. Resumen.....	69
3.2. Introducción.....	70
3.2.1. Objetivo.....	75
3.2.2. Hipótesis.....	75

3.3.	Materiales y Métodos.....	76
3.3.1.	Material genético.....	76
3.3.2.	Determinación de componentes nutraceuticos de las semillas de maíz.....	77
3.3.3.	Análisis estadístico.....	86
3.4.	Resultados y Discusión.....	87
3.4.1.	Contenido de Proteína Total.....	87
3.4.2.	Contenido de Lisina.....	88
3.4.3.	Contenido de Triptófano.....	89
3.4.4.	Contenido de extracto etéreo.....	91
3.4.5.	Contenido de cenizas.....	92
3.4.6.	Comparación de líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos.....	94
3.5.	Conclusiones.....	97
3.6.	Literatura Citada.....	99
3.7.	Anexos.....	103

#### **CAPITULO IV. VALORACIÓN DE EMBRIONES DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS.**

4.1.	Resumen.....	104
4.2.	Introducción.....	105
4.2.1.	Objetivo General.....	107
4.2.2.	Objetivos Específicos.....	107
4.2.3.	Hipótesis.....	107
4.3.	Materiales y Métodos.....	108
4.3.1.	Material genético.....	108
4.3.2.	Variables a evaluar.....	110
4.3.3.	Diseño experimental.....	111
4.4.	Resultados y Discusión.....	112
4.4.1.	Valoración morfológica de embriones.....	112
4.4.2.	Identificación y caracterización de los tipos de expresión morfológica de embriones de líneas de maíz con el carácter de tallos gemelos.....	113
4.4.3.	Porcentaje de expresión de los tipos de embriones gemelos en los grupos de líneas.....	122
4.4.4.	Proporción de biomasa contenida en las estructuras de la semilla.....	125
4.4.5.	Componentes estructurales de la semilla de tallos gemelos y no gemelos.....	130
4.5.	Conclusiones.....	131
4.6.	Literatura Citada.....	132

## **CAPÍTULO V. EXPRESIÓN FENOTÍPICA DE PLÁNTULAS DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS.**

5.1.	Resumen.....	133
5.2.	Introducción.....	134
	5.2.1. Objetivo General.....	136
	5.2.2. Objetivos Específicos.....	136
	5.2.3. Hipótesis.....	137
5.3.	Materiales y Métodos.....	137
	5.3.1. Material genético.....	137
	5.3.2. Manejo del experimento.....	139
	5.3.3. Diseño experimental.....	140
	5.3.4. Variables a evaluar.....	140
	5.3.5. Análisis estadístico.....	142
5.4.	Resultados y Discusión.....	142
	5.4.1. Emergencia de plántulas.....	142
	5.4.2. Plántulas con tallos gemelos.....	144
	5.4.3. Expresión fenotípica en plántulas de líneas con el carácter tallos gemelos.....	146
	5.4.4. Frecuencia de expresión fenotípica de plántulas con el carácter tallos gemelos en los grupos de líneas.....	156
	5.4.5. Expresión de vigor.....	161
	5.4.6. Vigor de plántulas entre tipos de tallos gemelos y no gemelos.....	174
5.5.	Conclusiones.....	177
5.6.	Literatura Citada.....	179
<b>CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>		<b>181</b>



## ÍNDICE DE CUADROS

### CAPÍTULO II

	Pág.
<b>Cuadro 1.</b> Líneas clasificadas en grupos por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG).....	20
<b>Cuadro 2.</b> Porcentaje y número de líneas que mostraron el carácter de tallos gemelos con respecto al porcentaje de emergencia de plántulas en campo. Montecillo, Estado de México, 2011.....	27
<b>Cuadro 3.</b> Frecuencia de líneas originales y de compuestos balanceados con respecto al porcentaje de emergencia de plántulas en campo. Montecillo, Estado de México, 2011.....	28
<b>Cuadro 4.</b> Número de líneas con respecto al porcentaje de plántulas con tallos gemelos en los diferentes grupos de gemelos.....	30
<b>Cuadro 5.</b> Valores de cuadrados medios de las variables de caracteres morfológicos y fenológicos de los diferentes genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.....	31
<b>Cuadro 6.</b> Valores de cuadrados medios de las variables morfológicas y fenológicas de los grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México, 2011.....	31
<b>Cuadro 7.</b> Comparación de los valores medios de las variables morfológicas y fenológicas, de los diferentes grupos de poblaciones gemelas y no gemelas. Montecillo, Estado de México.....	39
<b>Cuadro 8.</b> Cuadrados medios de las variables de componentes del rendimiento en las poblaciones estudiadas. Montecillo, Estado de México 2011.....	40
<b>Cuadro 9.</b> Cuadrados medios de las variables de los componentes del rendimiento entre grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México 2011.....	40
<b>Cuadro 10</b> Comparación de medias de las variables de componentes del rendimiento en los diferentes grupos de tallos gemelos y no gemelos. Montecillo, Estado de México, 2011.....	51

<b>Cuadro 11.</b>	Caracteres sobresalientes en las líneas que poseen el carácter de tallos gemelos. Montecillo, Estado de México, 2011.....	52
<b>Cuadro 12.</b>	Cuadrados medios de las variables morfológicas en los diferentes tipos de plantas. Montecillo, Estado de México, 2011.....	53
<b>Cuadro 13.</b>	Comparación de valores medios de las variables morfológicas en los diferentes tipos de plantas. Montecillo, Estado de México 2011.....	55
<b>Cuadro 14.</b>	Cuadrados medios de las variables de los componentes del rendimiento en los diferentes tipos de planta. Montecillo, Estado de México, 2011.....	56
<b>Cuadro 15.</b>	Comparación de los valores medios de las variables de los componentes del rendimiento en los diferentes tipos de planta. Montecillo, Estado de México, 2011.....	59
<b>Cuadro 1 A.</b>	Valores medios de los componentes del rendimiento de los 35 genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.....	64
<b>Cuadro 2 A.</b>	Valores medios de los componentes del rendimiento de los 35 genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.....	65
<b>Cuadro 3 A.</b>	Promedios, estimaciones y significancia en las variables morfológicas, en las líneas de alta contra baja frecuencia de tallos gemelos en los grupos 1040G, 1041G y 1053G.....	67
<b>Cuadro 4 A.</b>	Promedio, estimaciones y significancia en las variables de componentes de rendimiento, en líneas de alta contra baja frecuencia de tallos gemelos en los grupos: 1040G, 1041G y 1053G.....	68

### CAPITULO III

<b>Cuadro 1.</b>	Líneas clasificadas en grupos por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG).....	76
<b>Cuadro 2.</b>	Cuadrados medios y significancia para las características de grano de maíz de los 35 genotipos evaluados. Montecillo, Estado de México, 2011.....	87

<b>Cuadro 3.</b>	Cuadrados medios de las variables de características bioquímicas en grano de maíz de los diferentes grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México, 2011.....	87
<b>Cuadro 4.</b>	Valores medios en porcentaje de proteína total, lisina, triptófano, extracto etéreo y cenizas de grano entero de 35 genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.....	93
<b>Cuadro 5.</b>	Valores medios para las características bioquímicas en grano entero de los diferentes grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México 2011.....	94
<b>Cuadro 6.</b>	Promedios, estimaciones y significancia en las variables bioquímicas, en líneas de alta contra baja frecuencia de tallos gemelos en los grupos: 1040G, 1041G y 1053G. Montecillo, Estado de México, 2011.....	95
<b>Cuadro 7.</b>	Promedios, estimaciones y significancia en las variables bioquímicas, en líneas de alta frecuencia de tallos gemelos contra poblaciones normales. Montecillo, Estado de México, 2011.....	96
<b>Cuadro 8.</b>	Coeficientes de correlación de Pearson en las características bioquímicas de grano entero de maíz. Montecillo, Estado de México, 2011.....	96

#### **CAPÍTULO IV**

<b>Cuadro 1.</b>	Grupo de líneas clasificadas por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG). Montecillo, Estado de México, 2012.....	109
<b>Cuadro 2.</b>	Porcentaje de tipos de embriones gemelos presentes en cada línea con el carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	124
<b>Cuadro 3.</b>	Cuadrados medios de los componentes estructurales de la semilla.....	125
<b>Cuadro 4.</b>	Cuadrados medios de los componentes estructurales de semillas de los grupos de poblaciones gemelas y no gemelas. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	125

<b>Cuadro 5.</b>	Proporción (%) de biomasa contenida en las estructuras de la semilla de maíz de líneas con el carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	128
<b>Cuadro 6.</b>	Porcentaje de biomasa de las estructuras de la semilla de líneas de maíz con el carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	129
<b>Cuadro 7.</b>	Cuadrados medios de los componentes estructurales de la semilla de los diferentes tipos de embriones. Montecillo, Texcoco, Estado de México.....	130
<b>Cuadro 8.</b>	Porcentaje de las estructuras de semilla por tipo de embrión.....	131

## CAPÍTULO V

<b>Cuadro 1.</b>	Grupo de líneas clasificadas por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG). Montecillo, Estado de México, 2012.....	139
<b>Cuadro 2.</b>	Frecuencia y número de líneas con el carácter tallos gemelos según el porcentaje de emergencia de plántulas crecidas en invernadero.....	144
<b>Cuadro 3.</b>	Número y frecuencia de líneas con el carácter tallos gemelos, con respecto a la proporción de plántulas con tallos gemelos (%)......	146
<b>Cuadro 4.</b>	Variación morfológica de plántulas de tallos gemelos y porcentaje en que se presentan los diferentes tipos de expresión en cada una de las líneas con carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012...	160
<b>Cuadro 5.</b>	Valores de los cuadrados medios de las variables de expresión de vigor en plántulas de maíz de los diferentes genotipos evaluados. Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.....	161
<b>Cuadro 6.</b>	Valores de los cuadrados medios de las variables de expresión de vigor en plántulas de los grupos de poblaciones con tallos gemelos y no gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	161

<b>Cuadro 7.</b>	Valores medios de variables de expresión de vigor de plántulas de líneas con tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	165
<b>Cuadro 8.</b>	Valores medios de las variables de expresión de vigor (biomasa) en plántulas de líneas con tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	171
<b>Cuadro 9.</b>	Valores medios de las variables de expresión de vigor en plántulas de los grupos de poblaciones. Montecillos, Texcoco, Estado de México, 2012.....	172
<b>Cuadro 10.</b>	Caracteres sobresalientes de vigor en líneas que poseen el carácter de tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	173
<b>Cuadro 11.</b>	Cuadrados medios de las variables de expresión de vigor de plántulas en los diferentes tipos de tallos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	174
<b>Cuadro 12.</b>	Valores medios de las variables de expresión de vigor de plántulas en los diferentes tipos de plantas. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.....	176

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO IV

	Pág.
<b>Figura 1.</b> Tres semillas de maíz con embriones Tipo I o normal.....	112
<b>Figura 2.</b> Eje embrionario con plúmulas, encerradas en un coleóptilo, Tipo II.....	113
<b>Figura 3.</b> Embrión con coleóptilo ancho y dividido, Tipo III.....	114
<b>Figura 4.</b> Eje embrionario con plúmula en forma de roseta, Tipo IV.....	115
<b>Figura 5.</b> Embriones con eje embrionario pequeño y de forma irregular, Tipo V.....	116
<b>Figura 6.</b> Embriones con eje embrionario bifurcado, Tipo VI.....	117
<b>Figura 7.</b> Eje embrionario de forma cuadrada Tipo VII.....	118
<b>Figura 8.</b> Embriones con eje embrionario pequeño y en forma de V, Tipo VIII.....	119
<b>Figura 9.</b> Embrión con dos ejes embrionarios, Tipo IX.....	120
<b>Figura 10.</b> Eje embrionario con dos plúmulas y dos radículas, Tipo X....	121
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de los tipos de embriones gemelos, en líneas de maíz con el carácter tallos gemelos.....	123

### CAPÍTULO V

<b>Figura 1.</b> Plántula de maíz con expresión normal (un solo tallo), donde se muestran sus estructuras completas y con desarrollo normal.....	147
<b>Figura 2.</b> Crecimiento de plántula con tallos gemelos, con ejes y coleóptilos independientes y presentan un crecimiento normal en la parte aérea, Tipo A.....	148
<b>Figura 3.</b> Plántulas que comparten radícula, mesocótilo, coleóptilo, presentan un solo tallo hasta que los ejes se bifurcan en el entrenudo superior a la primera hoja, Tipo B.....	149
<b>Figura 4.</b> Plántula de tallos gemelos con la parte aérea en forma de roseta o braquítica (A) que comparten el mismo mesocótilo,	

	coleóptilo y radícula (B), Tipo C.....	150
<b>Figura 5.</b>	Plántulas con ejes de tallos independientes (A), presentan dos radículas fusionadas en el nudo escutelar. El círculo indica el punto donde se unen las dos radículas (B), Tipo D..	151
<b>Figura 6.</b>	Plántulas de tallos gemelos con ejes aéreos independientes (A) que comparten la misma radícula y provienen de una semilla (B),Tipo E.....	152
<b>Figura 7.</b>	Plántula con tres tallos, que comparten mesocótilo, coleóptilo y se observan dos radículas, Tipo F.....	153
<b>Figura 8.</b>	Plántula completa que presenta cuatro tallos: un eje independiente desde el nudo escutelar y tres ejes que comparten el mesocótilo y el coleóptilo (A) presentan dos radículas independientes (B),Tipo F.....	154
<b>Figura 9.</b>	Plántula de maíz que presenta tres tallos y tres radículas fusionadas Tipo G.....	155
<b>Figura 10.</b>	Porcentaje de expresión de los tipos de plántulas de 26 líneas de maíz con este carácter.....	156

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN GENERAL

Los cereales suministran más de la mitad de las proteínas requeridas por los seres humanos, pero éstas nutricionalmente no se encuentran balanceadas, están desprovistas de aminoácidos esenciales. Las proteínas provenientes de los cereales contienen en promedio 2 % de lisina, que equivale a menos de la mitad de la concentración recomendada por la FAO para la nutrición humana (Prasanna, 2001).

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los tres granos básicos que alimentan a la humanidad; es una planta herbácea anual originaria de México, la cual constituyó el principal alimento que permitió el desarrollo de las grandes culturas del Continente Americano. La evidencia más antigua de la existencia del maíz, de unos 7 000 años de antigüedad, ha sido encontrada por arqueólogos en el Valle de Tehuacán (México); este cereal era un producto esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y su nutrición (Johnson, 2000.). Por la intervención de los antiguos pobladores de este territorio, en un proceso coevolutivo, se condujo a la formación de una de las plantas cultivadas de mayor diversidad genética, y su patrimonio aún se mantiene en este país, principalmente por los productores del medio rural (Bye, 2009).

El maíz crece en latitudes que varían desde el ecuador hasta ligeramente arriba de los 50 ° norte y sur, desde el nivel del mar hasta altitudes de 3,000 msnm, tanto bajo regímenes de lluvia intensa como en condiciones semiáridas, o bien, en climas fríos o muy cálidos (Vázquez, 2006).



Por su capacidad de adaptación, el maíz es el único cereal de importancia mundial que es nativo del hemisferio occidental, originario de México, que se extendió hacia el norte, hasta Canadá y hacia el sur, hasta Argentina. Después del descubrimiento de América se distribuyó rápidamente hacia Europa, África y Asia (González, 1995).

A nivel mundial, el maíz es el cereal más cultivado, en los países desarrollados ocupa el segundo lugar pero en los países en desarrollo el maíz se ubica en el primero, como en América Latina y África, mientras que en Asia ocupa el tercer lugar, después del arroz y del trigo. Su amplia distribución indica su gran capacidad de adaptación a diferentes ambientes (Vázquez, 2006). En el mundo se cosechan cerca de 160 millones de hectáreas de maíz, siendo EE.UU. el país que tiene la mayor participación (21 %), seguido de China (20 %), Brasil (8 %), India y Unión Europea (5 % cada uno) y México (4 %). El nivel de producción de maíz depende tanto de la superficie destinada al cultivo, como de los rendimientos del mismo. El país que más superficie destina a la siembra de maíz es EE.UU y cuenta con uno de los rendimientos más elevados del mundo (9.6 toneladas por hectárea), razón por la cual es el primer productor de dicho grano. Le sigue China, que aunque siembra la misma superficie que EE.UU logra rendimientos menores (5.3 toneladas por hectárea), por lo tanto, la producción es casi 50 % menor a la de EE.UU. Información del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), indica que en el periodo 2010/2011 la producción mundial de maíz fue de 829 millones de toneladas, y fueron sólo diez países los que concentraron 85.3 % de la misma, Estados Unidos (EE.UU.), China, Unión Europea, Brasil, Argentina, México, India, Ucrania, Sudáfrica y Canadá (SE, 2012).

El cultivo del maíz en nuestro país se encuentra profundamente arraigado en la cultura agrícola de los campesinos, en especial en los pueblos indígenas desde épocas prehispánicas (Vázquez, 2006). El maíz es el cultivo más importante de México y representa su principal actividad agrícola, a la cual le sigue el frijol; ambos productos son de consumo básico para la población mexicana. Se estima que 94 % de la población mexicana incluye tortilla en su alimentación y ésta es la principal fuente de nutrimento del amplio sector de la población rural pobre y urbana marginada. Si se compara con la cantidad de otros cereales que componen la dieta de los mexicanos, se observa que el consumo humano de maíz es 23 veces mayor que el de arroz y 3 veces mayor que el de trigo (Méndez y Moreno, 2007).

En el ciclo agrícola 2010 el maíz ocupó 57.5 % de la superficie nacional cosechada; es decir, unas 7.2 millones de hectáreas y una producción de 23.3 millones de toneladas del grano. Los principales estados productores son: Sinaloa, Jalisco, México, Michoacán y Guerrero, que en conjunto aportan 56.4 % de la producción (SIAP, 2012).

El maíz ocupa poco más de la mitad de la superficie sembrada del país; representa casi una tercera parte del valor de la producción agrícola y existen poco más de 3 millones de productores de este grano (CEFP, 2007). El rendimiento promedio por hectárea es de 3.2 toneladas (lugar 78 de 164 países que producen maíz en el mundo). El promedio mundial es de 5.2 ton/ha (Agroder, 2012).

De acuerdo con el Centro de Estudios Económicos del Sector Privado (CEESP, 2007), organismo que depende del Consejo Coordinador Empresarial, además de la tortilla, alimento básico para el promedio de la población, en México se consumen más de 600

diferentes alimentos cuya base de elaboración es el maíz, lo que representa en promedio 43 % del consumo calórico de los mexicanos, de las zonas urbanas.

México es el mercado más grande de maíz en el mundo y representa 11 % del consumo mundial. Cada mexicano consume, en promedio, 123 kg de maíz anualmente, cifra muy superior al promedio mundial (16.8 kg *per cápita*) (Agroder, 2012).

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 definida por el número de granos por hilera y el número de hileras por mazorca. Como cualquier otro cereal, las estructuras que constituyen al grano del maíz (pericarpio, endospermo y embrión) le confieren propiedades físicas y químicas (color, textura, tamaño, calidad etc.) que han sido importantes en la selección del grano como alimento (Mera, 2009). Dependiendo del tipo de grano se han reportado diferencias en cuanto al tipo y cantidad de componentes químicos almacenados en él.

Un grano típico de maíz contiene un embrión pequeño y un endospermo grande, el cual está constituido por 90 % de almidón y 10 % de proteína. Aproximadamente 70 % de esta proteína está compuesta de diferentes tipos de prolaminas, conocidas como zeínas, que son solubles en alcohol (Gupta *et al.*, 2009).

El embrión contiene la mayor parte de aceite, azúcares, vitaminas y minerales; la harina del embrión de maíz contiene 23 % a 25 % de proteína. El endospermo contiene todo el almidón que posee el grano y 70 % o más de la proteína total. La fibra y cenizas están concentradas en el pericarpio (Rooney *et al.*, 2004).

Los mayores constituyentes químicos del grano de maíz son los carbohidratos. Estos carbohidratos son la razón de que los cereales sean altamente valorados como productos básicos agrícolas (Boyer y Shannon, 2003).

En el grano, el almidón se encuentra en el endospermo como simples gránulos esféricos que varían de 2 a más de 20  $\mu\text{m}$  de diámetro. La forma y tamaño de los gránulos varía dependiendo de su ubicación en el endospermo. Los gránulos son en su mayoría esféricos en el endospermo harinoso y suave, y angulares en el endospermo duro. Los gránulos de almidón del maíz son insolubles en agua fría pero pueden cambiar irreversiblemente su estructura granular (gelatinización) cuando la mezcla se calienta entre 62 a 72 °C (Rooney *et al.*, 2004). El almidón del maíz está compuesto por dos tipos de moléculas, una lineal llamada amilosa y otra ramificada, denominada amilopectina (González, 1995). El contenido de amilosa en el almidón del grano de maíz es de 20 a 30 % y de amilopectina de 70 a 80 %. La amilopectina es de alto peso molecular (10 millones de Daltons) y es un polímero de glucosa que da al gránulo su organización básica. La amilosa es de bajo peso molecular (0.5 millones de Daltons) y es un polímero de glucosa compuesto sólo de enlaces  $\alpha$ -1,4 (Rooney *et al.*, 2004).

El grano maduro contiene pequeñas cantidades de otros carbohidratos, además del almidón. Principalmente se encuentran, en igual proporción los monosacáridos D-fructosa y D-glucosa en el endospermo. El total de azúcares del grano varía entre 1 y 3 %, y la sacarosa, es el mayor disacárido en el grano de maíz, y se encuentra principalmente en el embrión (White y Johnson, 2003).

Las proteínas del maíz se clasifican en cuatro grupos: albúminas, globulinas, prolaminas (zeinas) y glutelinas. La proteína de maíz se caracteriza por su alto nivel de zeína y glutelina (60 a 85 %). Hay cuatro tipos de zeína: Alfa, Beta, Gama y Delta, que se distribuyen en un patrón distintivo. Estas proteínas son ricas en glutamina, leucina y prolina. En el maíz normal, todas las fracciones de proteína, excepto la zeína, están equilibradas en contenido de aminoácidos y son ricas en lisina y triptófano. En el grano de maíz, los aminoácidos esenciales, como lisina, triptófano y treonina, se encuentran en cantidades reducidas en la zeína. De estos la lisina es la más limitante, seguida del triptófano; la reducción en la cantidad de zeína conduce al aumento de lisina y triptófano, y a un mejor valor nutritivo de las proteínas del grano de maíz (Rooney *et al.*, 2004).

La calidad del aceite en los alimentos está en función de las cantidades relativas de ácidos grasos saturados e insaturados. Los aceites con alta proporción de ácido linoléico y menos cantidades de oléico, palmítico y ácido esteárico, son deseados y frecuentemente recomendados para dietas humanas (Zuber y Darrah, 1987).

El maíz contiene 4.4 % de extracto etéreo que está compuesto principalmente de triglicéridos (Rooney *et al.*, 2004). El aceite de maíz tiene bajos niveles de ácidos grasos saturados: ácido palmítico (16:0, 11 %), y buenos niveles de ácidos grasos insaturados: ácido esteárico (18:0, 2 %), ácido oléico (18:0, 2 %), ácido linoléico (18:1, 24.1 %, 18:2, 61.9 %) (Weber, 2003).

La calidad de las proteínas depende de su contenido de aminoácidos esenciales. La FAO ha planteado que la proteína de un alimento es biológicamente completa cuando

contiene todos los aminoácidos en una cantidad igual o superior a la establecida para cada aminoácido en una proteína de referencia o patrón, como las del huevo, leche y carne, que tienen una proporción de aminoácidos esenciales utilizables en 100 % (FAO, 1996).

Ha quedado señalado que la proteína del maíz normal es de baja calidad debido que es deficiente en dos aminoácidos esenciales: lisina y triptófano, y en aminoácidos menores como los de isoleucina. Esto puede ocasionar diferentes tipos de desnutrición, según sea el aminoácido limitante; es decir, el aminoácido que no se encuentra en la proteína alimentaria y por tanto, no contribuye a la síntesis de nuevas proteínas. La deficiencia proteínica, particularmente en niños, provoca el síndrome de Kwashiorkor, el cual es potencialmente mortal y se caracteriza por retrasar el crecimiento en infantes, irritabilidad, lesiones de la piel, edema o esteatosis hepática (Vivek *et al.*, 2008).

El triptófano y la lisina son aminoácidos esenciales que ocasionan mayores problemas para la nutrición humana, debido a que su carencia es típica en poblaciones que tienen difícil acceso a productos de origen animal, y en las cuales los cereales o los tubérculos son la base de su alimentación.

El déficit de aminoácidos esenciales afecta más a los niños que a los adultos. El triptófano es un precursor del neurotransmisor serotonina; éste modula los patrones de sueño y humor, y por ello su deficiencia se ha relacionado con trastornos depresivos. Sin embargo, a nivel nutricional, su deficiencia representa un problema mayor, ya que es un precursor de la niacina (vitamina B3) y la deficiencia de ambos tiene relación directa con la Pelagra (enfermedad que se caracteriza por la presencia de dermatitis,

demencia y diarrea), la cual se presenta en poblaciones cuya dieta está basada en harina de maíz (escasa en este aminoácido) (Devlin, 2004; Casanueva *et al.*, 2008).

La L-lisina es un elemento necesario en la síntesis de todas las proteínas, hormonas, enzimas y anticuerpos del organismo. Es requerida en el organismo para la creación de carnitina, usada en el metabolismo de las grasas. Este aminoácido estimula la síntesis de colesterol en el hígado, desempeña un papel central en la absorción del calcio y también participa en la producción de colágeno y elastina (Devlin, 2004; Casanueva *et al.*, 2008).

Resulta indispensable contar con variedades de maíz con un mejor perfil proteínico para comunidades que fuertemente dependen de este cereal como alimento básico. Varias mutaciones naturales de los genes del maíz que confieren mayores niveles de lisina y triptófano fueron identificadas en las décadas de 1960 y 1970, se identificaron diferentes mutaciones naturales de los genes del maíz que confieren mayores contenidos de lisina y triptófano: el opaco-2 (o2), el harinoso-2 (*fl-2*), el opaco-7 (o7), el opaco-6 (o6) y el harinoso-3 (*fl-3*) (Vivek *et al.*, 2008). De éstas, se encontró que la mutación o2 era la más apta para utilizarse en la manipulación genética por los programas fitotécnicos dirigidos a generar maíz con altas concentraciones de lisina y triptófano (Vasal, 2001). Se demostró que el maíz homocigoto, respecto a la mutación o2 (recesiva), tenía un contenido mayor de lisina y triptófano que el maíz heterocigoto (O2o2) u homocigoto dominante (O2O2), en el locus opaco-2 (Crow y Kermicle, 2002). En una cantidad dada de proteína proveniente de maíz o2o2, la proporción de no-zeínas es mayor, lo cual predispone al maíz o2 a tener mayores contenidos de lisina y triptófano (Gibbon y Larkins, 2005)

Con el descubrimiento de dos genes mutantes e independientes, conocidos como opaco-2 (o2) y harinoso-2 (*fl-2*), responsables de la herencia de alta calidad de la proteína del maíz, existe la posibilidad de mejorar la calidad de los maíces, al diseñar programas de transferencia de tales genes a variedades comerciales (Reyes, 1990).

Bressani (1992) demostró que una mayor concentración de estos dos aminoácidos en el endospermo del grano puede duplicar el valor biológico de la proteína del maíz (el valor biológico de la proteína es la proporción de proteína absorbida que es retenida en el cuerpo para ser utilizada en su mantenimiento y crecimiento). Sin embargo, la cantidad de proteína total en este tipo de maíz sigue siendo de 10 %, lo mismo que en el maíz común (con endospermo normal). Es decir, la cantidad de maíz común que se debe consumir, para lograr equilibrar los aminoácidos, es dos veces mayor que la cantidad de maíz opaco-2 (Vivek *et al.*, 2008).

El beneficio nutricional que ofrece el QPM para la gente cuya alimentación depende principalmente del maíz es un mayor consumo de energía, proteína y otros nutrientes.

Existen dos formas de crear un nuevo individuo: sexual y asexualmente, ambos procesos pueden tomar lugar simultáneamente dentro de una semilla. Las semillas y brotes poliembriónicos se han encontrado en diferentes especies de plantas superiores. Kiesselbach (1925) registró algunos casos donde el embrión del maíz tiene múltiples plúmulas y raíces primarias, con únicamente un solo cotiledón. Por no encontrar dos embriones independientes, pero sí únicamente un embrión anormal, a esta condición le llamó falsa poliembrionía. Aunque estos casos son evidentemente muy raros, han sido reportados por varios investigadores. El primer caso reportado fue por Shrenk (1894)



quien ilustró y describió la expresión de plántulas de dos granos, cada uno tenía dos plúmulas y dos raíces primarias y un solo cotiledón. Dos semillas similares fueron encontradas por Goss y descritas por Kempton (1913). Weatherwax (1921) encontró y describió diferentes casos de falsa poliembrionía en maíz. En cada uno de los casos, la semilla producía dos tallos y dos raíces primarias. En estos granos el coleóptilo y la coleoriza eran dobles, pero sólo se encontró un cotiledón. En otros casos se encontraron tres tallos unidos a un solo cotiledón (Kiesselbach, 1925).

Algunos autores describen el caso de semillas con dos embriones atribuidos a poliembrionía y designan a las plantas respectivas como plantas gemelas (Castro y Rodríguez, 1979). Por su parte Pérez *et al.* (2004) mencionan que en los maíces estudiados el número de semillas con dos o más embriones representó una pequeña porción del total de semillas.

Valdez *et al.* (2004) determinaron la calidad proteica en cuatro ciclos de selección de una población de maíz poliembriónico y concluyen que al seleccionar y recombinar las familias con mayor grado de poliembrionía se incrementa de manera significativa el contenido de lisina y triptófano en el grano.

Mediante el mejoramiento genético, en el área de Fisiotecnia Vegetal del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, desde 1994 se ha venido desarrollando un proyecto con el objetivo de incorporar el carácter "Tallos gemelos" (expresión de dos plantas, genotípica y fenotípicamente similares, que se forman de una sola semilla) a tres líneas élite del programa de mejoramiento de maíz. Primero se obtuvieron, a través de selección, Familias de Medios Hermanos Maternos y después de formar un

compuesto balanceado con ellas, se obtuvieron líneas por autofecundación. Hasta el momento se cuenta con líneas S<sub>5</sub> de alto vigor y con frecuencia de gemelos superior a 50 %.

### **1.1. OBJETIVO GENERAL**

A través de la selección y recombinación se ha logrado obtener líneas con el carácter tallos gemelos y se ha logrado incrementar la frecuencia de éste carácter; por ello el objetivo general es:

Evaluar el comportamiento agronómico, morfológico y nutracéutico de tres grupos de líneas de maíz que poseen el carácter tallos gemelos comparados con sus líneas originales (no gemelas) así también, con plantas no gemelas dentro de cada línea.

### **1.2. HIPOTESIS GENERALES**

Existen diferencias agronómicas, morfológicas y nutracéuticos a nivel de plántula, planta y semilla de maíz, al comparar líneas con el carácter tallos gemelos Vs líneas con tallos no gemelos.

Dentro de estos grupos de líneas seleccionadas, que poseen el carácter tallos gemelos, se encuentran líneas prometedoras con alta frecuencia, vigor y calidad nutracéutico; que pueden ser utilizadas como progenitores y así obtener híbridos con alto rendimiento y calidad de grano.

### 1.3. LITERATURA CITADA

**Agroder. 2012.** Producción de maíz en México, 2010. Comparativo regional de rendimientos en maíz. [En línea]. Disponible en [http://www.agroder.com/Documentos/Publicaciones/Produccion de Maiz en Mexico-AgroDer\\_2012.pdf](http://www.agroder.com/Documentos/Publicaciones/Produccion de Maiz en Mexico-AgroDer_2012.pdf). (revisado el 23 de abril de 2013).

**Bressani, R. 1992.** Nutritional value of high-lysine maize in humans. *In*: E.T. Mertz (ed.). Quality Protein Maize. Asociación Americana de Química de Cereales, St. Paul Minnesota, USA.

**Bye, R. A, T. A. Kato Y, C. Mapes, J. A. Serratos y L. M. Mera 2009.** Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 116 p.

**Boyer, C. D. and J. C. Shannon. 2003.** Carbohydrates of kernel. Chapter 8. *In* Corn: Chemistry and Technology. 2<sup>nd</sup> ed. Watson, S. A. and P. E. Ramstad, (eds.). By The American Association of Cereal Chemistry Inc. St. Paul Minnesota, USA. pp: 289-312.

**Casanueva, E., M. Kaufer-Horwitz, A. B. Pérez-Lizaur, y P. Arroyo. 2008.** Nutriología Médica. 3<sup>a</sup> ed. Panamericana, México. 785 p.

**Castro, G. M. y S. Rodríguez H. 1979.** Estudio preliminar del potencial de plantas de maíz con tallos gemelos. *Fitotecnia*, 2 (3):39-49.

Centro de Estudios Económicos del Sector Privado. 2007. Recomienda CEESP utilizar maíz mejorado para elevar productividad. [En línea]. Disponible en <http://www.2000agro.com.mx/biotecnologia/recomienda-ceesp-utilizar-maiz-mejorado-para-elevar-productividad/> (revisado el 18 de marzo de 2012).

**Centro de Estudios de las Finanzas Públicas. (CEFP) 2007.** Situación Actual y perspectivas del Maíz. México [En línea]. Disponible en [www.cefp.gob.mx](http://www.cefp.gob.mx). (revisado el 24 de marzo de 2012).

**Crow, J. F. and J. Kermicle. 2002.** Oliver Nelson and quality protein maize. *Genetics* 160:819.

**Devlin, T. M. 2004.** Bioquímica con aplicaciones clínicas. 4ª ed. Reverté, S.A. Barcelona, España. 1218 p.

**Food and Agriculture Organization (FAO). 1996.** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Cumbre Mundial de la Alimentación Guatemala. [En línea]. Disponible en <http://coin.fao.org/cms/world/guatemala/PaginaInicial/SeguridadAlimentariaYNutricional.html> (revisado el 14 de enero de 2013).

**Gibbon, B. and B. Larkin. 2005.** Molecular genetic approaches to developing quality protein maize. *Trends Genet.* 21:227-233.

**González, A. U. 1995.** El Maíz y su conservación. Trillas. México. 399 p.

**Gupta, H. S., P. K. Agrawal, V. Mahajan, G. S. Bisht, A. Kumar, P. Verma, A. Srivastava, S. Shana, R. Babu, M. C. Pant, and V. P. Mani. 2009.** Quality protein maize for nutritional security: rapid development of short duration hybrids through molecular marker assisted breeding. *In Current Science*, 96 (2):230-237.

**Kiesselbach, T. A. 1925.** False polyembryony in maize. Contribution from Department of Agronomy University of Nebraska. Journal Series, Nebraska Agricultural Experiment Station. U.S.A. *American Journal of Botany*, 13 (1):33-34.

**Johnson, L. A. 2000.** Corn: The major cereal of the Americas. Chapter 2. *In: Handbook of Cereal Science and Technology*. 2nd. ed. Kulp, K. and J. G. Ponte Jr, (eds.). Marcel Dekker. New York, USA. pp: 31-78.

**Méndez, A. y E. Moreno. 2007.** Aflatoxinas en las tortillas de maíz. CONACYT (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología). México [En línea]. Disponible en

<http://www.conacyt.mx/Comunicacion/Revista/210/Articulos/Aflatoxinas/Aflatoxinas00.htm> (revisado el 18 de marzo de 2013).

**Mera, L. M, T. A. Kato Y., C. Mapes, J. A. Serratos y R. A. Bye. 2009.** El Maíz. Aspectos biológicos. Clasificación taxonómica del género *Zea* y parientes silvestres. *In:* Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. pp: 18-29.

**Pérez, D., J. C. 2004.** Comparación morfológica y agronómica de plantas gemelas y no gemelas de poblaciones de maíz de Valles Altos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 58 p.

**Prasanna, B. M., S. K. Vasal, B. Kassahum and N. N. Sing. 2001.** Quality protein maize. *In:* Current Science, 81(10). pp: 1308-1319.

**Reyes, C. P. 1990.** El maíz y su cultivo. AGT Editor. México. 460 p.

**Rooney, L. W., C. M. McDonough and R. D. Waniska. 2004.** The Corn Kernell. Chapter 2.2. *In* Corn: Origin, history, technology and production. C. Wayne S. J. Bertrán. (eds.). E.C.A. Runge Wiley Series in Crop Science. Texas A & U, University U.S.A. pp: 273-304.

**Secretaría de Economía (SE). 2012.** Dirección General de Industrias Básicas. Análisis de la cadena de valor Maíz-Tortilla: Situación actual y factores de competencia local. [En línea]. Disponible en [http://www.economia.gob.mx/files/comunidad\\_negocios/industria\\_comercio/informacion\\_Sectorial/20120411\\_analisis\\_cadena\\_valor\\_maiz-tortilla.pdf](http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacion_Sectorial/20120411_analisis_cadena_valor_maiz-tortilla.pdf) (revisado el 24 de abril de 2013).

**Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). 2012.** Sistema de información agroalimentaria y pesquera. Maíz: números esenciales de un cultivo fundamental. [En línea]. Disponible en [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=367:numeros-](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=367:numeros-)

[fundamentales-de-un-cultivo-fundamental&catid=6:boletines&Itemid=569is](#) (revisado el 24 de abril de 2013).

**Valdez L., L. J. Espinoza V., A. E. García V., M.L. Reyes V. y A. F. Aguilera C. 2005.** Efecto de la poliembrionía sobre el contenido de aminoácidos lisina y triptófano del grano de maíz. *In: XI Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería.* Esquivel, S.S. (ed.) Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Yucatán, México.

**Vázquez, G. J. 2006.** Ecofisiología del Maíz. Vol. I Agroclimatología. Universidad Autónoma de Chiapas. Facultad de Ciencias Agronómicas. Fundación Produce Chiapas, A.C. México. 277 p.

**Vivek, B. S., A. F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie y A. O. Diallo. 2008.** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT. 66 p.

**Weber, E. J. and P. J. White. 2003.** Lipids of the kernel. Chapter 10. *In: Corn: Chemistry and technology.* White, P. J. and Johnson, L. A. (eds.). By American Association of Cereal Chemists. St Paul Minnesota, USA. pp: 355 - 405.

**White, P. J. and L. A. Johnson. 2003.** Corn: Chemistry and Technology. 2<sup>nd</sup> ed. American Association of Cereal Chemistry. St Paul Minnesota, USA. 892 p.

**Zuber, M. S. and L. L. Darrah. 1987.** Breeding, Genetics, and seed corn production. Chapter 2. *In: Corn: Chemistry and Technology.* Watson, S. A. and P. E. Ramstad. (eds.). By The American Association of Cereal Chemists, Inc. USA. pp: 31-57.

## CAPÍTULO II.

### EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS DE MAÍZ CON CARÁCTER

#### TALLOS GEMELOS.

##### 2.1. RESUMEN

En el Área de Fisiotecnia Vegetal de Genética del Programa de Recursos Genéticos y Productividad-Genética, Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados; se han desarrollado líneas de maíz para Valles Altos, que poseen alta frecuencia de tallos gemelos (presencia de dos plántulas originadas de una semilla). En la presente investigación se evaluó el comportamiento agronómico de líneas de maíz con el carácter tallos gemelos (TG) comparado con plantas no gemelas de cada línea y materiales que no poseen dicho carácter. Para ello se utilizaron 26 líneas S<sub>5</sub> de maíz con el carácter TG, éstas se clasificaron en grupos, por su línea original (1040G, 1041G y 1053G) y por la frecuencia de tallos gemelos (alta y baja). Como testigos se incluyeron nueve materiales: dos líneas originales (1041Or y 1053Or); dos compuestos balanceados (gemelos y no gemelos); dos materiales mejorados y tres poblaciones nativas (2 poblaciones de maíz azul con alto contenido de proteína y una local de maíz blanco). Estos nueve materiales se incluyeron para comparar el comportamiento agronómico de éstos con las líneas que poseen el carácter tallos gemelos. El estudio se realizó en el ciclo agrícola P-V 2011, en Montecillo, Texcoco. Para el análisis de datos se utilizó el modelo estadístico de DBCAG con tres repeticiones y 16 variables. Se realizó la prueba de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, grupos y tipo de tallos por planta (un solo tallo y tallos gemelos). Con base a los resultados, los testigos fueron superiores a las líneas gemelas en todas las variables (exceptuando en asincronía floral). Entre plantas de tallos gemelos y no gemelos dentro de una misma línea no se encontraron diferencias en su comportamiento agronómico. Las líneas de TG con características sobresalientes fueron: 2451, 2454, 2455, 2457, 2458, 2461, 2463, 2468, 2470 y 2472.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., índice de cosecha, peso de mazorca.

## 2.2. INTRODUCCIÓN

El maíz es considerado uno de los principales cultivos a nivel nacional y mundial, por la importancia que este cereal tiene en la dieta alimenticia de humanos y animales, por las grandes extensiones de tierra cultivada, así como por la gran cantidad de empleos directos e indirectos que genera en toda la cadena de producción, de procesamiento industrial y comercialización, que abarcan desde la siembra hasta que es consumido (Cruz y Jeglay, 2006).

En México se han generado poblaciones de maíz que tienen la característica de que de una sola semilla emergen dos o más plantas (plantas de tallos gemelos), con expresión fenotípica similar. Es un fenómeno interesante por el hecho de que tener dos o más embriones por semilla podrían incrementar el contenido de aceite, la calidad y cantidad de proteína por grano, además de que se podría reducir el número de semillas necesarias para sembrar una hectárea y probablemente se pudiera aumentar la producción de maíz en menos extensiones sembradas (Espinoza *et al.*, 1998). Un mejor y alto contenido nutricional es debido principalmente al mayor número de embriones, ya que el embrión de maíz contiene la mayor parte del aceite, así como la mayor cantidad y calidad de proteína en el grano (Castro y Rodríguez, 1979)

Espinoza *et al.* (1998) señalan que el fenómeno, al que llaman poliembrionía en maíz, tiene una base heredable de índole cuantitativo, pero contrario a esto, Rebolloza *et al.* (2011), indican que el carácter poliembriónico no es cuantitativo y sí de naturaleza recesiva. Ellos plantean que la poliembrionía que ocurre en dos poblaciones de maíz es controlada por dos loci epistáticos recesivos duplicados, donde basta la presencia de un



alelo dominante de cualquiera de ellos para expresar la condición normal de planta, por lo que la poliembrionía se expresa sólo con el genotipo doble homocigótico recesivo.

La condición de semillas gemelas de maíz es una característica que por métodos de mejoramiento genético se ha incorporado al germoplasma, que puede ser aprovechable, buscando potenciar el rendimiento e incrementar el valor nutracéutico del grano, aumentando la cantidad y calidad de aceites y proteínas (Espinoza *et al.*, 1998).

En el Área de Fisiotecnia Vegetal de Genética del Programa de Recursos Genéticos y Productividad - Genética del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, se han desarrollado líneas altamente endogámicas de maíz para los Valles Altos, que poseen alta frecuencia de tallos gemelos y que deben ser estudiadas. Es de primordial importancia la evaluación de las mismas, pues es necesario conocer sus características agronómicas y seleccionar con base en los resultados de campo, las líneas con características genotípicas y fenotípicas, que puedan estar asociadas con el carácter de interés.

### **2.2.1. OBJETIVO**

Evaluar el comportamiento agronómico de líneas de maíz que poseen el carácter tallos gemelos comparado con líneas originales (sin el carácter tallos gemelos) así como también, con plantas no gemelas de cada línea y materiales que no poseen dicho carácter.

### **2.2.2. HIPÓTESIS**

Las líneas de maíz que poseen el carácter tallos gemelos tienen un comportamiento agronómico similar al de genotipos que no poseen este carácter.

No existen diferencias entre el comportamiento agronómico de plantas con tallos gemelos y el de plantas de un solo tallo, dentro de una misma línea.

Las plantas, de líneas con alta frecuencia de tallos gemelos tienen igual comportamiento agronómico a las de una sola planta de las líneas de baja frecuencia de tallos gemelos.

## **2.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.3.1 Material Genético**

Se utilizaron 26 líneas S<sub>5</sub> de maíz que poseen el carácter tallos gemelos (TG) catalogadas con base en el comportamiento expresado en campo durante su multiplicación. Éstas se clasificaron en grupos, por su línea original (1040G, 1041G y 1053G) y por la frecuencia de tallos gemelos (alta y baja). Se consideró una línea de alta frecuencia (AFG) a aquella que tenía más de 35 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) a la que tenía plantas con tallos gemelos menor a 34.5 % (Cuadro 1).

Las líneas seleccionadas por su alta frecuencia de tallos gemelos fueron: 7 líneas del grupo 1040G, 4 líneas del 1041G y 3 líneas del 1053G. Las líneas de baja frecuencia de tallos gemelos fueron: 9 líneas del grupo 1040G; 2 líneas del 1041G y 1 línea del 1053G. Estas líneas fueron obtenidas al introducir este carácter a tres líneas élite del

programa de Fisiotecnia Vegetal, Genética- IREGEP-CP: 1040, 1041 y 1053. Primero incorporando el carácter por cruzamiento de germoplasma de gemelos, proveniente de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), con las líneas 1040, 1041 y 1053; y luego de la segregación ( $F_2$ ) se realizó una selección de familias de medios hermanos maternos (MHM), posteriormente se crearon compuestos balanceados y de esa recombinación se derivaron las líneas de alta frecuencia de tallos gemelos (AFG).

**Cuadro 1.** Líneas clasificadas en grupos por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG).

Líneas con carácter de tallos gemelos					
Grupos					
1040G		1041G		1053G	
Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia
2446	AFG	2463	AFG	2470	AFG
2447	AFG	2464	AFG	2471	AFG
2448	AFG	2465	AFG	2472	AFG
2449	AFG	2466	AFG	2473	BFG
2450	AFG	2467	BFG		
2451	AFG	2468	BFG		
2452	AFG				
2453	BFG				
2454	BFG				
2455	BFG				
2456	BFG				
2457	BFG				
2458	BFG				
2459	BFG				
2460	BFG				
2461	BFG				

Una línea de alta frecuencia (AFG) es aquella que tenía más de 35 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) es la que tenía plantas con tallos gemelos en frecuencia menor a 34.5 %.

Se incluyeron como testigos dos de las tres líneas originales (1041Or y 1053Or); dos compuestos balanceados (de tallos gemelos y no gemelos). Estos compuestos

balanceados de tallos gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla uniforme de semillas de líneas de mayor y de menor frecuencia de gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, recombinados en dos generaciones filiales. También se incluyeron dos materiales mejorados: H-San José y H-San Marcos, esta última de grano amarillo con alto contenido en aceite y tres poblaciones nativas: Chalco-352 y Oaxaca-394 (poblaciones de maíz azul con alto contenido de proteína) y Huexotla (población local de maíz blanco). Estos nueve materiales se incluyeron para comparar el comportamiento agronómico de éstos con las líneas que poseen el carácter tallos gemelos.

### **2.3.2. Manejo del experimento**

El estudio se realizó en el ciclo agrícola primavera – verano de 2011, en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, ubicado en Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se ubica a 2250 msnm; su temperatura media anual es de 15.2 °C, el clima de la localidad es templado sub-húmedo con lluvias en verano, con una precipitación promedio anual de 645 mm (García, 1988).

La siembra se realizó manualmente, depositando una sola semilla por mata, a la distancia de 0.20 m entre plantas; y separación entre surcos de 0.8 m, con la densidad de siembra de 62,500 plantas por hectárea. El control de malezas se hizo manualmente, la primera y segunda escarda se realizó a 30 y 45 días después de la siembra, respectivamente. Se aplicó el primer riego al momento de la siembra y posteriormente se aplicaron cuatro más, según las necesidades del cultivo, de manera que las plantas no presentaran deficiencias de humedad. No hubo aplicación de

agroquímicos para el control de plagas. En cada parcela se marcó uniformemente la quinta hoja, de tres plantas con el carácter de tallos gemelos y tres plantas no gemelas; posteriormente la marca se uniformó en la hoja 10; esto para dar seguimiento al número de hojas en la planta.

### **2.3.3. Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones. La parcela experimental consistió de dos surcos de 5 m de largo. La unidad experimental intraparcela fue la planta (de un solo tallo o de tallos gemelos), el tamaño de muestra fue de tres plantas no gemelas (de un solo tallo) y tres plantas con tallos gemelos presentes en cada parcela de cada una de las líneas. En los compuestos balanceados (de tallos gemelos y no gemelos) el tamaño de muestra en cada parcela fue de tres plantas no gemelas (de un solo tallo) y tres plantas con tallos gemelos. De las líneas originales (1041Or y 1053Or), los materiales mejorados y poblaciones nativas se tomaron tres plantas por parcela.

### **2.3.4. Variables evaluadas**

Se consideró como planta de tallos gemelos a toda aquella proveniente de una semilla que presentó dos tallos.

En cada parcela se tomaron las plantas marcadas (3 de tallos gemelos y 3 no gemelas) para medir las siguientes variables:

### **2.3.5. Caracterización de plantas de tallos gemelos**

**Porcentaje de plántulas emergidas (PPE).** Para este valor, a los 15 días después de la siembra, se contó el número total de plántulas emergidas por parcela y se calculó el porcentaje: número de plántulas presentes entre número de semillas sembradas por parcela por cien.

**Porcentaje de plántulas de tallos gemelos (PPG).** El porcentaje se determinó contando el número de plántulas de tallos gemelos entre el total de plántulas emergidas por parcela por cien.

**Altura de planta (AP).** La planta se midió en la etapa de floración, en centímetros, desde el nivel del suelo hasta la base de la espiga.

**Altura de mazorca (AM).** Medida en centímetros desde el nivel del suelo hasta el nudo de inserción de la mazorca superior.

**Número de hojas totales (NH).** Se contó el número de hojas por tallo.

**Número de hojas arriba de la mazorca (HAM).** Se contó el número de hojas arriba de la mazorca por tallo.

**Días a floración masculina (DFM).** Se cuantificó en días desde la siembra hasta el momento en que la parcela mostró 50 % de las espigas exhibiendo derrame de polen.

**Días a floración femenina (DFF).** Se cuantificó en días desde la siembra hasta que en la parcela 50 % de las plantas mostraron exposición de estigmas.

**Asincronía floral (AF).** Esta variable se derivó de la diferencia entre los días a floración masculina y femenina.

**Biomasa total (BT).** A la madurez fisiológica, de cada una de las parcelas experimentales, se cosecharon al azar tres plantas con tallos gemelos y tres de no gemelos (de un solo tallo), las que fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa a 60 °C por 72 h; se registró la biomasa total de cada planta, utilizando una balanza electrónica marca OHAUS®, con una precisión de centésimos de gramo.

### **Componentes del rendimiento**

Al momento de la cosecha, en cada una de las parcelas experimentales se tomaron al azar tres plantas con tallos gemelos y tres plantas no gemelas (un solo tallo). De cada tallo por planta se tomó la mazorca principal para realizar las siguientes mediciones:

**Longitud de mazorca (LM).** Se midió en centímetros, desde la base hasta el ápice de la mazorca.

**Diámetro de mazorca (DM).** Se midió en centímetros el diámetro de cada mazorca en la parte media de ésta, utilizando un vernier.

**Número de hileras por mazorca (NHM).** Se contó el número de hileras presentes en la parte media de cada mazorca.

**Número de granos por hilera (NGH).** Se contabilizó el número de granos de una hilera de cada mazorca.

**Diámetro de olote (DO).** Se midió en centímetros la parte media del olote con un vernier.

**Peso de mazorca (BM).** Para la medición de esta variable las mazorcas fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa a 60 °C durante 72 h, posteriormente se registró su peso individual utilizando una balanza electrónica marca OHAUS® con una precisión de centésimos de gramo. En las plantas de tallos gemelos se sumaron los pesos de las mazorcas principales de ambos tallos.

**Peso del grano por mazorca (BG).** Se tomó el peso de grano de la mazorca, utilizando una balanza electrónica marca OHAUS®. En las plantas de tallos gemelos se sumaron los pesos de grano de ambas mazorcas.

**Peso de 100 granos (PG).** El peso se registró en gramos, se pesaron 100 granos de cada mazorca; se utilizó una balanza electrónica marca OHAUS®. En las plantas con tallos gemelos se contaron 100 granos de cada mazorca principal y se promediaron.

**Índice de cosecha (IC).** Se calculó dividiendo el peso del grano (rendimiento económico) entre la biomasa total de cada planta (rendimiento biológico).

$$\text{Índice de cosecha (IC)} = \frac{\text{Rendimiento económico (RE)}}{\text{Biomasa total (BT)}}$$

### **2.3.6. Análisis estadístico**

Para el análisis de datos de porcentaje de emergencia y porcentaje de plántulas con tallos gemelos, se hicieron tablas de frecuencia, utilizando intervalos, los resultados se presentan por número de líneas, por frecuencia con respecto al total de líneas y por grupos de líneas.



Para los datos de las demás variables, se realizaron los análisis de varianza utilizando el programa GLM SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0. De acuerdo al modelo estadístico de bloques completos al azar generalizado (se utilizó el método de datos perdidos en el diseño de bloques completos al azar, debido a la pérdida de algunas parcelas por incidencia de *Phyllophaga spp.* Se realizó la prueba de comparación de medias (Tukey,  $P \leq 0.05$ ) entre tratamientos, grupos y tipo de tallos por planta (un solo tallo y tallos gemelos). Mediante contrastes ortogonales se analizaron dentro de cada grupo (1040G, 1041G y 1053G) las líneas de alta frecuencia y las de baja frecuencia de tallos gemelos (AFG y BFG).

## **2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En el ciclo agrícola 2011, durante el cual se desarrolló el presente estudio, se tuvieron condiciones ambientales adversas como: altas temperaturas (superiores a 30 °C), baja humedad relativa, presencia de plagas rizófagas (*Phyllophaga spp*) y heladas tempranas (temperaturas de – 4 °C, durante la etapa de llenado de grano, 7 y 8 de septiembre); que no favorecieron el desarrollo óptimo del cultivo y ello limitó la expresión del potencial genético para rendimiento (datos de temperatura proporcionados por la estación agrometeorológica, Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados, 2011).

### **2.4.1. Porcentaje de emergencia.**

De las 26 líneas estudiadas que poseen el carácter tallos gemelos sólo dos (8 %) tuvieron el porcentaje de emergencia mayor de 85 %. Estas líneas (2458 y 2460) corresponden al grupo 1040G, que habían sido previamente clasificadas como de baja

frecuencia de gemelos (BFG) y tuvieron un porcentaje de emergencia de 89 y 90 %, respectivamente. En el intervalo de 70 a 84.5 % de emergencia se encontraron 15 líneas, que representan 58 % del total de las líneas estudiadas, de las cuales ocho pertenecen al grupo 1040G (cuatro de AFG y cuatro de BFG); tres al grupo 1041G (tres líneas de AFG) y cuatro del grupo 1053G (tres de AFG y una de BFG). Con porcentajes de emergencia menores a 70 %, se agruparon 9 líneas que representan 34 % del total de líneas estudiadas, seis líneas pertenecen al grupo 1040G (tres de AFG y tres de BFG); tres al grupo 1041G (una de AFG y dos de BFG) (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Porcentaje y número de líneas que mostraron el carácter tallos gemelos con respecto al porcentaje de emergencia de plántulas en campo. Montecillo, Estado de México, 2011.

Emergencia (%)	Líneas Número	Líneas Porcentaje	Grupo de líneas						
			Número						
			1040		1041		1053		
			AFG	BFG	AFG	BFG	AFG	BFG	
> 85	2	8	0	2	0	0	0	0	0
70-84.5	15	58	4	4	3	0	3	1	
<70	9	34	3	3	1	2	0	0	
Total	26	100	7	9	4	2	3	1	

AFG=Selección por alta frecuencia de plantas con tallos gemelos (> 35 %); BFG= Selección por baja frecuencia de plantas con tallos gemelos (< 34.5).

Con respecto a los testigos, ocho de los nueve genotipos presentaron porcentajes de emergencia mayores a 80 %. De las dos líneas originales, la 1053Or fue la que tuvo mayor porcentaje de emergencia con 99.4 %, la 1041Or tuvo 83.3 %, el compuesto

balanceado de tallos gemelos (CBG) presentó 82.7 % y el compuesto balanceado de no gemelos (CBNG) 80.8 % (Cuadro 3).

**Cuadro 3.** Frecuencia de líneas originales y de compuestos balanceados con respecto al porcentaje de emergencia de plántulas en campo. Montecillo, Estado de México, 2011.

Emergencia (%)	Variedades				
	No.	Compuestos Balanceados		Línea Original	
		CBG	CBNG	1041	1053
> 85	1	0	0	0	1
70 -84.5	3	1	1	1	0

CBG= Compuesto balanceado de tallos gemelos; CBNG= Compuesto balanceado de no gemelos.

De los materiales mejorados el híbrido H-San José tuvo 88.5 % de emergencia y H-San Marcos, 87.8 %. Las poblaciones nativas Huexotla y Oaxaca-394 presentaron buen porcentaje de emergencia (94.9 % y 82.1 %, respectivamente). La población Chalco-352 fue la de menor porcentaje con 64.7 %, esto fue debido quizás al manejo post cosecha que se le dio a la semilla utilizada, ya que esta se obtuvo del ciclo agrícola Montecillo, 2008 y fue almacenada a temperatura ambiente durante un tiempo en cual no se le dio ningún tipo de tratamiento y posteriormente fue resguardada en un cuarto frío. En promedio, al comparar los testigos con las líneas gemelas, éstos fueron superiores ya que presentaron un porcentaje de emergencia de 85 % contra 72.4 % de las líneas gemelas.

#### 2.4.2. Porcentaje de plantas con tallos gemelos

Estos datos se registraron a los treinta días después de la siembra, cuando las plántulas presentaron de cuatro a cinco hojas liguladas; ya que sólo a ese tiempo fue

posible identificar fácilmente las plántulas con tallos gemelos, debido a que algunas plántulas presentaban tallos fusionados.

En las 26 líneas estudiadas se observó que el porcentaje de plantas con tallos gemelos aumentó con respecto al registro señalado del ciclo agrícola previo. En el grupo 1040G se tuvieron diez líneas con alta frecuencia de tallos gemelos ( $> 35\%$ ): cuatro líneas tuvieron más de  $60\%$  (2447, 2449, 2453 y 2460); tres líneas con  $50$  a  $59.5\%$  (2446, 2450 y 2451) y en el intervalo de  $35$  a  $49.5\%$  se encontraron tres líneas (2454, 2455 y 2457). En el grupo 1041G las seis líneas que lo integran aumentaron el porcentaje de plantas con tallos gemelos: dos líneas (2465 y 2466) con porcentaje superior a  $60\%$ ; dos (2463 y 2464) se presentaron en el intervalo de  $50$  a  $59.5\%$  y dos (2467 y 2468) se ubicaron entre  $35$  a  $49.5\%$ . Dentro del grupo 1053G las cuatro líneas presentaron alta frecuencia: una línea (2473) tuvo más de  $60\%$  y tres líneas (2470, 2471 y 2472) tuvieron entre  $35$  y  $49.5\%$  de plantas con tallos gemelos (Cuadro 4).

El promedio de emergencia y frecuencia de tallos gemelos en campo de las 26 líneas que poseen el carácter de tallos gemelos fue de  $72.4\%$  y  $47.1\%$  respectivamente. El porcentaje de emergencia de estas líneas fue menor al estándar establecido por el SNICS, que es de  $85\%$ ; pero como es sabido, la endogamia conduce a una reducción en vigor y fertilidad.

Es interesante señalar que  $80\%$  de líneas que presentaron porcentajes altos de tallos gemelos ( $> 35\%$ ) presentaron también bajos porcentajes de emergencia ( $\leq 78\%$ ).

Espinoza *et al.* (1998) mencionan que es probable que la germinación y la poliembrionía sean dos variables complejas, negativamente asociadas. Aunado a esto, el mal temporal que prevaleció en el ciclo 2011 durante el cual se realizó este trabajo,

conlleva a un bajo porcentaje de emergencia. Sin embargo, es importante mencionar que la selección practicada a estos genotipos durante varios ciclos, ha permitido aumentar simultáneamente el porcentaje de emergencia y la frecuencia de tallos gemelos en campo.

**Cuadro 4.** Número de líneas con respecto al porcentaje de plántulas con tallos gemelos, en los diferentes grupos de gemelos.

Líneas con carácter tallos gemelos			
Tallos gemelos (%)	Número		
	1040G	1041G	1053G
>60	4	2	1
50-59.5	3	2	0
35 -49.5	3	2	3
<34.5	6	0	0
Total	16	6	4

### 2.4.3. Valoración agronómica

En el análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre genotipos y entre grupos de genotipos en las variables de caracteres morfológicos y fenológicos (Cuadros 5 y 6). Entre genotipos, en los bloques y en la interacción bloques por tratamientos sólo se encontraron diferencias en las variables: AP y AM; esto indica que las condiciones ambientales del bloque (terreno) no provocaron el mismo efecto sobre los tratamientos (genotipos) con relación a estas variables. En la interacción bloques por grupos no se encontraron diferencias. Los coeficientes de variación fueron bajos exceptuando el de asincronía floral, esto indica el alto nivel de

dispersión de los datos en esta variable, con respecto al valor promedio (Cuadros 5 y 6).

**Cuadro 5.** Valores de cuadrados medios de las variables de caracteres morfológicos y fenológicos de los diferentes genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	AP	AM	HT	HAM	DFM	DFF	ASF
Bloque	2	2563.4**	664.6*	1.6 NS	0.74 NS	2.6 NS	0.4 NS	1.7 NS
Tratamiento	34	4889.9**	2626.8**	4.04**	0.78**	78.6**	71.0**	7.0**
Blo*Trat	68	454.5**	195.9**	0.5 NS	0.1 NS	0.7NS	0.6 NS	0.9 NS
Error	84	100.24	81.1	0.6	0.3	3.6	3.4	1.4
CV (%)		6.18	11.0	4.7	11.9	2.2	2.1	47.7

\*, \*\*, NS= indican diferencias significativas, altamente significativa y No Significativa, respectivamente  $p=0.05$ ; AP= altura de planta; AM=altura de mazorca; HT= hojas totales por tallo; HAM= hojas arriba de la mazorca; DFF=días a floración femenina; DFM=días a floración masculina y ASF= asincronía floral.

**Cuadro 6.** Valores de cuadrados medios de las variables morfológicas y fenológicas de los grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México 2011.

FV	GL	AP	AM	HT	HAM	DFM	DFF	ASF
Bloque	2	38.68 NS	7.0 NS	2.1 NS	0.4 NS	1.4 NS	0.3 NS	1.8 NS
Grupos	11	10601.6**	6183.3**	7.4**	1.0*	193.1**	169.8**	18.7**
Bloques x Grupos	22	630.0 NS	244.5 NS	0.9 NS	0.3 NS	0.7 NS	0.5 NS	0.8 NS
Error	153	490.8	235.6	0.8	0.3	5.7	5.6	1.25
CV (%)		13.7	18.7	5.4	12.2	2.8	2.7	45.5

\*, \*\*, NS= indican diferencias significativas, altamente significativa y no Significativa, respectivamente  $p=0.05$ ; AP= altura de planta; AM=altura de mazorca; HT= hojas totales por tallo; HAM= hojas arriba de la mazorca; DFF=días a floración femenina; DFM=días a floración masculina y ASF= asincronía floral.

## **Altura de planta**

En la prueba de medias de las 26 líneas que tienen el carácter tallos gemelos, 23 % (seis líneas: 2455, 2460, 2461 del grupo 1040G; 2468 del 1041G; 2470 y 2472 del 1053G) presentaron AP deseable pues se ubicaron en un intervalo de 170 a 191 cm. El 77 % restante registró menos de 170 cm de altura y de ellas, la que menor AP registró fue la línea 2447, del grupo 1040G (Cuadro 1A). Entre los grupos de líneas gemelas, el 1053G mostró mayor AP, fue 14.4 % más alto que el 1040G y 5.8 % más que el 1041G. Los grupos 1040G y 1041G no presentaron diferencias entre ellos (Cuadro 7).

Con relación a los testigos las líneas originales se ubicaron en el intervalo de 192 a 220 cm. La 1041Or fue 9.2 % más alta que la 1053Or y 18.1 % que el grupo 1041G. La 1053Or fue 21 % más alta que el grupo de gemelos 1053G. Con relación a los compuestos balanceados éstos presentaron diferencias entre sí, se ubicaron en el intervalo de 170 a 191 cm. El CBG fue más alto (3.9 %) que el CBNG y en promedio fueron 13 % más altos que los grupos de líneas gemelas.

Los testigos nativos y mejorados registraron alturas mayores a 221 cm, siendo el H-San José el que presentó mayor AP con 256.1 cm (Cuadro 1A). Los materiales nativos y mejorados en promedio fueron 30.1 % más altos que los grupos de gemelos, 9.8 % más que las líneas originales y 19.7 % que los compuestos balanceados (Cuadro 7).

El porte más bajo de las líneas de tallos gemelos es deseable ya que; aun cuando poseen cinco generaciones de autofecundación, continúan conservando el vigor que deben tener como líneas. Reyes (1990) señala que los mejoradores deben buscar

genotipos de porte bajo y alta productividad, en ese sentido estos arquetipos de planta se espera sean más eficientes en el aprovechamiento de los recursos disponibles.

### **Altura de mazorca**

De las 26 líneas con carácter tallos gemelos 19.2 % (cinco líneas) mostraron buena AM. Las líneas: 2455 y 2461 del grupo 1040G; 2465 del 1041G, 2470 y 2472 del 1053G, tuvieron entre 90 y 105 cm. Las líneas del 80.1 % restante mostraron la mazorca a una altura menor a 90 cm, la línea 2450 fue la de menor AM (Cuadro 1A). Entre los grupos 1041G y 1053G no se encontraron diferencias significativas, pero con respecto al grupo 1040G sí; las líneas de este grupo mostraron 14.9 % más AM (Cuadro 7).

En lo que respecta a los testigos, las líneas originales se ubicaron en un intervalo mayor a 105 cm de AM; al hacer la comparación de medias éstas mostraron diferencias entre sí y con respecto a su correspondiente grupo de líneas de tallos gemelos. La 1053Or tuvo 4.8 % más AM que la línea 1041Or y 23.5 % más que el grupo 1053G; la 1041Or fue superior 22.4 % que el grupo 1041G. Entre los compuestos balanceados se encontraron diferencias significativas. El CBG se ubicó en el intervalo de 90 a 105 cm y el CBNG en el intervalo menor a 90 cm; es decir, el CBG tuvo la mazorca 8.0 % más arriba que la del CBNG. En promedio los compuestos balanceados de gemelos presentaron la AM, más alta 8.9 % que los grupos de tallos gemelos (Cuadro 7).

Las poblaciones nativas y el híbrido H-San José se ubicaron en el intervalo mayor a 105 cm y el híbrido de grano amarillo H-San Marcos se ubicó en el intervalo menor a 90 cm (Cuadro 1A). Este grupo en promedio mostró mayor AM: 38.5 % que los grupos de



gemelos, 16 % que las líneas originales y 32.5 % que los compuestos balanceados (Cuadro 7).

Rivera (1970) indica que la posición óptima de la mazorca debe ser ligeramente arriba de la mitad de la planta y sólo nueve líneas de tallos gemelos cumplieron con lo antes mencionado. Éstas fueron: 2452, 2455, 2456, 2457, 2460, 2461 (grupo 1040G); 2469, 2465, 2467 (1041G) y 2470 (1053G). El resto de las líneas (38.5 %) la posición de la mazorca se ubicó debajo de la mitad de la planta.

### **Número de hojas por tallo**

De la comparación de medias se observa que 38.5 % (diez líneas) de las 26 con carácter de tallos gemelos presentaron entre 17 y 18 hojas por tallo. Estas líneas fueron: 2455, 2458, 2460 y 2461 del grupo 1040G; 2463, 2464, 2465 y 2468 del 1041G y 2470 y 2471 del 1053G. El 61.5 % restante tuvieron de 15 a 16 hojas por tallo. Los grupos 1041G y 1053G no mostraron diferencias significativas entre ellos, pero sí expresaron diferencias con el grupo 1040G. Los grupos 1041G y 1053G presentaron 0.5 más hojas que el 1040G.

Las líneas originales 1041Or y 1053Or en la comparación de medias tuvieron diferencias significativas para número de hojas por tallo; la 1041Or presentó 1.8 hojas más que la 1053Or. Al compararlas con su correspondiente grupo de gemelos se encontró que la línea 1041Or no fue diferente al grupo 1041G y la 1053Or registró 0.9 menos hojas que 1053G (Cuadro 7). Entre los compuestos balanceados no se encontraron diferencias significativas; en promedio mostraron 0.9 menos hojas que los grupos de gemelos y las líneas originales.

En promedio los materiales nativos y mejorados fueron los que mayor NHT registraron. La población de grano azul Chalco-352 fue la que más hojas por tallo presentó (20.6 hojas) (Cuadro 7).

### **Número de hojas arriba de la mazorca**

Las líneas con carácter tallos gemelos que presentaron mayor número de HAM (5 a 5.6) fueron tres y representan el 11.5 % de las 26 líneas evaluadas. Estas líneas fueron: 2451 y 2458 (grupo 1040G) y 2468 (1041G). El 88.5 % restante presentó en promedio de 4 a 4.9 hojas; la línea 2473 fue la que presentó menor número de HAM (3.8 hojas) de todas las líneas.

Las líneas originales no expresaron diferencias entre ellas, en promedio presentaron 4.5 hojas arriba de la mazorca. Al compararlas con sus respectivos grupos de gemelos, la 1041Or no tuvo diferencias con el grupo 1041G, pero la 1053Or en promedio presentó 0.2 hojas más que el 1053G (Cuadro 7).

De todos los grupos, los materiales mejorados fueron los que mayor número de HAM presentaron (5.6 hojas).

El número de hojas en maíz directamente el área foliar, por lo que es muy importante en la planta ya que es una característica que se relaciona con el rendimiento de grano, por ser ésta la fuente fisiológica principal, y en maíz alcanza su máximo en el período de antesis, debido a que en este estado fenológico, la planta termina de exponer todas sus hojas (Tanaka y Yamaguchi, 1972).

## **Días a floración masculina**

Las líneas más tardías (90 a 92 días) fueron: 2464, 2465, 2466 (grupo 1041G); 2468 y 2471 (1053G); ellas representan 19.2 % del total de líneas con carácter tallos gemelos. El 80.8 % restante registró un intervalo de 81 a 89 DFM, es decir, tienen una precocidad intermedia; de todas; las líneas más precoces (81 días) fueron: 2451, 2452 y 2458 (1040G) (Cuadro 1A).

Entre los grupos de líneas de tallos gemelos, el grupo 1041G fue 6 días más tardío que el grupo 1040G y 2.2 días más que el grupo 1053G. De los tres, el 1040G fue el grupo que presentó mayor precocidad (85 días a FM) (Cuadro 7).

En las líneas originales la línea 1053Or fue 1.7 días más tardía que la 1041Or. Al compararlas con sus respectivos grupos de líneas gemelas, éstos presentaron más DFM. El grupo 1041G fue 10.6 días más tardío que la línea 1041Or y el grupo 1053G fue 6.7 días más tardío que la línea 1053Or (Cuadro 7); por consiguiente, durante la incorporación del carácter de tallos gemelos, también se acarreó tardividad en todos los grupos de líneas, lo cual no es deseable.

El CBG fue 4.5 días más tardío que el CBNG. En promedio los compuestos balanceados fueron 4.8 días más precoces que los grupos de líneas gemelas y 2.2 días más tardíos que las líneas originales.

Los testigos: Oaxaca-394 presentó 88 días a floración masculina, H-San José 81.3 días, H-San Marcos 79 días; de todos los materiales evaluados Huexotla fue el más precoz con 75 DFM y el más tardío fue Chalco-352 con 92 DFM (Cuadro 7).

## Días a floración femenina

Para esta variable 38.5 % de las líneas de tallos gemelos se ubicaron en un intervalo de 90 a 94 días, las líneas más tardías (94 días) fueron la 2464 y 2466 del grupo 1041G. El 61.5 % restante presentó entre 83 y 89 días. Las líneas más precoces en floración femenina (83 a 84 días) fueron igual que en floración masculina: 2451, 2452 y 2458 (1040G) (Cuadro 1A)

En los grupos de tallos gemelos, el 1041G fue el más tardío con 6.1 días más que el grupo 1040G y 2.4 días más que el 1053G.

En los testigos, hubo diferencias significativas entre las líneas originales, la 1041Or fue 3 días más precoz que la 1053Or. Al compararlas con sus grupos de gemelos, la línea original 1041Or fue 10 días más precoz que la 1041G y la 1053Or, 4.4 días más precoz que la 1053G (Cuadro 7).

Los compuestos balanceados mostraron diferencias significativas en la comparación de medias, el CBG fue 4.5 días más tardío que el CBNG. En promedio, los compuestos balanceados fueron 4.3 días más precoces que los grupos de tallos gemelos y 1.2 días más tardíos que las líneas originales (Cuadro 7).

Las poblaciones nativas en promedio fueron 7.5 días más tardíos que los materiales mejorados y 1.2 días más tardías que los grupos de gemelos (Cuadro 7). El genotipo que mayor número de DFF presentó fue Chalco-352 con 99 días (Cuadro 1A).

Gil *et al.* (2004) mencionan que la precocidad es una variable importante, sobre todo para siembras de temporal y que la selección de las variedades para su adopción, se

debe realizar de acuerdo a las condiciones de humedad que prevalecen en cada microrregión.

### **Asincronía floral**

En el intervalo de 1 a 3 días se ubicaron todas las líneas gemelas (Cuadro 1A). Entre los grupos de gemelos no se encontraron diferencias significativas, estas poblaciones presentaron una ASF de 2 a 4 días. Es importante mencionar que debido a la selección realizada a los genotipos con el carácter tallos gemelos se ha logrado reducir el intervalo de días entre las dos floraciones.

En maíz, el parámetro más importante a seleccionar es el intervalo entre antesis y exposición de estigmas. Ya que en condiciones de campo entre menor sea la asincronía entre las dos floraciones, mayor será la posibilidad de fecundación y producción de grano (Fischer y Palmer, 1984).

En lo que respecta a los testigos, las líneas originales y compuestos balanceados no presentaron diferencias entre ellos ni con los grupos de gemelos respectivos (Cuadro 7).

Las poblaciones nativas y los mejorados fueron los que presentaron mayor ASF con un intervalo de 4 a 8 días. El H-San Marcos fue el que menor ASF presentó (Cuadro 8.). La amplia variación de la variable registrada entre las dos floraciones, desde 1 día en la línea 2447 (grupo 1040G) hasta 8.3 días en el maíz nativo Huexotla, originó que el coeficiente de variación en esta variable fuera alto.

**Cuadro 7.** Comparación de los valores medios de las variables morfológicas y fenológicas de los diferentes grupos de poblaciones de tallos gemelos y no gemelos. Montecillo, Estado de México, 2011.

GRUPOS	No. Líneas	Altura		Hojas		Días a Floración		Asincronía	
		Planta (cm)	Mazorca (cm)	P/Tallo (Número)	A/Mazorca (Número)	Masculina (Días)	Femenina (Días)	Floral (Días)	
1040 G	16	145.4 f	71.1 i	16.6 d	4.4 c	85 d	87 e	2 b	
1041 G	6	159.6 f	82.1 h	17.3 c	4.6 c	91 a	93 b	2 b	
1053 G	4	169.6 e	85.1 h	16.8 c	4.3 d	89 b	91 c	2 b	
1041 Original	1	194.9 d	105.8 f	17.7 c	4.6 c	80 f	83 g	3 b	
1053 Original	1	214.7 c	111.2 e	15.9 d	4.4 c	82 e	86 e	3 b	
Compuesto Balaceado									
CB Gemelos	1	185.3 d	90.9 g	16.1 d	4.7 c	86 c	88 d	2 b	
CB No Gemelos	1	178.1 d	83.6 h	15.9 d	4.5 c	81 e	84 f	3 b	
Nativos									
Chalco 352	Azul	1	249.1 a	176.0 a	20.6 a	4.3 d	92 a	99 a	7 a
Oaxca 394	Azul	1	222.6 b	139.7 c	17.3 c	4.0 e	88 b	93 b	4 b
Huexotla	Blanco	1	221.6 b	120.3 d	16.9 c	5.2 b	75 h	84 f	8 a
Mejorados									
H-San José	Blanco	1	256.1 a	141.9 b	18.8 b	5.6 a	81 e	86 f	4 b
H-San Marcos	Amarillo	1	182.9 d	84.3 h	15.8 d	5.6 a	80 g	83 g	3 b
DSM			49.7	34.4	2.0	1.2	5.4	5.3	2.5

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). \*Los compuestos balanceados de tallos gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de líneas de mayor y menor frecuencia de tallos gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinados

#### 2.4.4. Componentes del rendimiento

En el análisis de varianza entre genotipos y entre grupos de poblaciones se encontraron diferencias altamente significativas en todas las variables de los componentes del rendimiento evaluadas, exceptuando en el IC donde se encontraron diferencias

significativas y no significativas (Cuadros 8 y 9). No hubo diferencias en las interacciones de bloques por tratamiento y bloques por grupo. Los coeficientes de variación fueron bajos exceptuando los de las variables: BT, PG e IC (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Cuadrados medios de las variables de componentes del rendimiento en las poblaciones estudiadas. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	BT	LM	DM	DO	NHM	NGH	PG	P100G	IC
Bloque	2	13350.6*	16.0*	0.4*	0.25*	6.2 <sub>NS</sub>	47.9*	936.6 <sub>NS</sub>	6.53 <sub>NS</sub>	0.004 <sub>NS</sub>
Trat	34	8570.5**	8.5**	0.7**	0.4**	8.97**	50.1**	1546.9**	86.6**	0.02*
Blo*Trat	68	1679.8 <sub>NS</sub>	2.3 <sub>NS</sub>	0.1 <sub>NS</sub>	0.03 <sub>NS</sub>	1.8 <sub>NS</sub>	13.6 <sub>NS</sub>	360.2 <sub>NS</sub>	9.3 <sub>NS</sub>	0.006 <sub>NS</sub>
Error	84	2836.2	2.9	0.1	0.03	2.2	13.6	340.63	6.0	0.009
CV (%)		31.7	15.2	9.41	8.75	9.98	18.0	33.5	15.7	28.4

\*, \*\*, NS=indican diferencias significativas, altamente significativas y no significativas, respectivamente  $p=0.05$ ; BT= biomasa total; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; DO= diámetro de olote; NHM= número de hileras por mazorca; NGH= número de granos por hilera; PG= peso de grano; P100G= peso de 100 granos, IC= índice de cosecha.

**Cuadro 9.** Cuadrados medios de las variables de los componentes del rendimiento entre grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	Componentes del rendimiento								
		BT	LM	DM	DO	NHM	NGH	PG	P100G	IC
Repetición	2	1004.9 <sub>NS</sub>	1.5 <sub>NS</sub>	0.02 <sub>NS</sub>	0.05 <sub>NS</sub>	1.9 <sub>NS</sub>	3.7 <sub>NS</sub>	116.6 <sub>NS</sub>	0.5 <sub>NS</sub>	0.004 <sub>NS</sub>
Grupos	11	16655.8**	17.8**	1.1**	0.5**	13.5**	82.9**	2991.1**	221.4**	0.01 <sub>NS</sub>
Blo x Grupo	22	1776.8 <sub>NS</sub>	3.42 <sub>NS</sub>	0.2 <sub>NS</sub>	0.04 <sub>NS</sub>	1.9 <sub>NS</sub>	15.1 <sub>NS</sub>	541.5 <sub>NS</sub>	20.5 <sub>NS</sub>	0.005 <sub>NS</sub>
Error	153	2755.32	2.7	0.2	0.07	2.7	16.5	397.9	7.8	0.01
CV (%)		31.3	14.8	11.4	13.2	11.2	19.8	36.2	18.0	30.5

\*\*, NS=indican diferencias altamente significativas, y no significativas, respectivamente  $p=0.05$ ; BT= biomasa total; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; DO= diámetro de olote; NHM= número de hileras por mazorca; NGH= número de granos por hilera; PG= peso de grano; P100G= peso de 100 granos, IC= índice de cosecha.

## **Biomasa total**

En la comparación de medias, 34.6 % de las líneas gemelas registró BT de 170 a 200 g; estas líneas son: 2451, 2455, 2457, 2458, 2461 (1040G), 2463, 2468 (1041G) y 2470 y 2472 (1053G). En el intervalo de 140 a 169.9 g se ubicó el 30.8 % y con menos de 139.9 g se registró 42.3 % de las líneas restantes; siendo la 2447 la que menor biomasa tuvo (Cuadro 2A).

Entre grupos de tallos gemelos, 1040G registró 8 % menos biomasa que los grupos 1041G y 1053G (Cuadro 10).

Las líneas originales presentaron diferencias significativas, la 1053Or tuvo mayor cantidad de BT (12 %) que la 1041Or y 22.6 % más que el grupo de tallos gemelos 1053G. La 1041Or no mostró diferencias con el grupo 1041G (Cuadro 10).

Los compuestos balanceados CBG y CBNG, en la comparación de medias no presentaron diferencias entre ellos pero sí tuvieron 27.7 % más BT que los grupos de líneas de tallos gemelos (Cuadro 10).

Entre los testigos nativos y mejorados, hubo diferencias significativas, el H-San José fue el que registro la mayor BT y Oaxca-394 tuvo la menor. En promedio fueron 35 % superiores a los grupos de tallos gemelos (Cuadro 10).

El rendimiento del maíz depende de la cantidad de biomasa que se acumula en el grano. Por lo que la biomasa total es una característica importante pues está altamente correlacionada con el tamaño final de la mazorca y en general corresponde a 40 % del peso total de la planta (Fischer y Palmer, 1984).



## **Longitud de mazorca.**

De las líneas de tallos gemelos 46.2 % presentaron longitudes de mazorca menor a 10.9 cm y 53.8 % tuvieron mazorcas entre 11 y 12.4 cm. Las líneas que se ubicaron en el segundo intervalo fueron: 6 del grupo 1040G (2446, 2448, 2454, 455, 2457 y 2458); 5 del 1041G (2463, 2465, 2466, 2467 y 2468) y 3 del 1053G (2470, 2471 y 2472). Las líneas que tuvieron la mazorca más pequeña fueron: 2447, 2449 (1040G) y 2473 (1053G) (Cuadro 2A). Al hacer la comparación de medias entre los grupos de tallos gemelos, no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 10).

En los testigos, la línea 1053Or presentó 15.5 % más LM que la 1041Or y 18.5 % más que el grupo de gemelos 1053G. La 1041Or no mostró diferencias con su respectivo grupo 1041G (Cuadro 10).

Entre los compuestos balanceados, CBG y CBNG no hubo diferencias significativas, tampoco con los grupos de tallos gemelos, ni con la línea original 1041Or (Cuadro 10).

De los materiales nativos y mejorados en la comparación de medias se observaron diferencias; el que registró mayor LM fue Chalco-352. En promedio tuvieron mazorcas de 13.4 cm y fueron más grandes que las de las líneas gemelas, originales y compuestos balanceados.

En general, todos los materiales genéticos tuvieron mazorcas medianas, esto fue debido probablemente a que el temporal del ciclo agrícola no fue bueno, debido a la incidencia de factores ambientales estresantes (presencia de plagas rizófagas, heladas tempranas e inundaciones del terreno), por lo que no se expresó a plenitud su potencial genético.

## **Diámetro de mazorca**

El 26 % de las líneas con el carácter tallos gemelos presentaron DM de 3.5 a 3.9 cm; estas líneas son: 2454, 2455, 2461 (de 1040G); 2463, 2468 (de 1041G) 2470 y 2472 (de 1053G). El 74 % restante registraron diámetros menores a 3.4 cm. Las líneas que presentaron menor DM fueron: 2447, 2452 y 2459 (de 1040G) (Cuadro 2A). En la comparación de medias entre los grupos de tallos gemelos, 1041G y 1053G no fueron significativamente diferentes, pero estos dos grupos con respecto al 1040G presentaron 3 % más DM (Cuadro 10).

Con respecto a los testigos, entre las líneas originales 1041Or y 1053Or no hubo diferencias en la comparación de medias. Comparados con los grupos de gemelos, sí se encontraron diferencias significativas; la línea 1041Or presentó 10.5 % más DM que su grupo 1041G y 1053Or fue 15 % mayor, con respecto al 1053G.

Entre los compuestos balanceados hubo diferencias significativas; el CBG presentó 7.7 % menos DM que el CBNG. En promedio, estos compuestos presentaron 10.8 % más diámetro de mazorca que el de los grupos de líneas de tallos gemelos y 5.1 % menos diámetro que las líneas originales (Cuadro 10). Los compuestos balanceados y las líneas originales tuvieron en promedio un diámetro de mazorca de 3.6 a 4.0 cm.

Los testigos mejorados y nativos fueron en promedio 17.5 % superiores a los grupos de líneas de tallos gemelos.

## **Diámetro de olote**

Todas las líneas con carácter tallos gemelos, se ubicaron en el intervalo de 1.5 a 2.4 cm de DO (Cuadro 2A). La línea que menor DO presentó fue la 2459 y la 2461 fue la de mayor DO; ambas líneas pertenecen al grupo 1040G. Al hacer la comparación de medias, los grupos de líneas de tallos gemelos (1040G, 1041G y 1053G) no mostraron diferencias entre sí.

En los testigos, las líneas originales mostraron diferencias en la prueba de medias; la 1041Or presentó 20 % más DO que la 1053Or. El CBNG tuvo 8.6 % más diámetro que el CBG.

Las poblaciones nativas no mostraron diferencias significativas y tuvieron 20 % menor diámetro de olote que el de los grupos de líneas de tallos gemelos. En los mejorados, el Híbrido San José tuvo 23.3 % más diámetro que el Híbrido San Marcos y 33.3 % más que el de los grupos de tallos gemelos (Cuadro 10).

## **Número de hileras por mazorca**

En 11 de las 26 líneas (42.3 %) se presentaron de 15 a 16.6 hileras por mazorca; éstas son: 6 del grupo 1040G (2453, 2454, 2455, 2456, 2460 y 2461); 3 del 1041G (2463, 2464 y 2468) y 2 del 1053G (2470, 2472). El 57.7 % restante tuvo menos de 14 hileras por mazorca, la línea 2449 (1040G) fue la que presentó el menor valor (Cuadro 2A). En la comparación de medias por grupos de líneas se encontraron diferencias significativas, 1041G tuvo 5 % más hileras que los grupos 1040G y 1053G.

La línea original 1041Or tuvo 21.6 % más hileras por mazorca que la 1053Or; además, presentó 20 % más hileras que la 1041G, y la 1053Or tuvo 2 % más que la 1053G (Cuadro 10).

El CBG registró 14 % menos hileras que el CBNG. En promedio los compuestos balanceados mostraron 7 % más hileras que los grupos de líneas de tallos gemelos y 6 % menos que las líneas originales (Cuadro 10).

Los materiales mejorados y nativos se presentaron en el intervalo de 11 a 15.8 HM (Cuadro 10). Del total de materiales, la línea original 1041Or fue la que presentó mayor NHM.

### **Número de granos por hilera**

En esta variable 50 % de las líneas de tallos gemelos presentaron más de 20 granos por hilera: 8 líneas del grupo 1040G (2448, 2451, 2454, 2455, 2456, 2457, 2458 y 2459); 2 del 1041G (2463 y 2466) y 3 del 1053G (2470, 2471 y 2472). El otro 50 % tuvo menos de 19 granos por hilera; la línea 2453 fue la que tuvo menor NGH (Cuadro 3A). Como sucedió con LM, esta variable también fue negativamente afectada por las condiciones ambientales adversas que se tuvieron durante el desarrollo del experimento

En la comparación de medias de los grupos 1040G y 1041G no se observaron diferencias entre sí, pero éstos mostraron 7.6 % menos grano por hilera que el grupo 1053G (Cuadro 10).

Entre las líneas 1041Or y 1053Or no se encontraron diferencias en sus valores medios. Además, la línea 1053Or no mostró diferencias con su grupo 1053G y la 1041Or tuvo 17.2 % más NGH que el 1041G (Cuadro 10).

Entre los compuestos, CBG y CBNG no se encontraron diferencias en la comparación de medias, ni éstos comparados con las líneas originales. Los compuestos balanceados y las líneas originales registraron de 21 a 26.5 granos por hilera (Cuadro 10). En promedio, exhibieron 15 % más NGH que los grupos de gemelos.

Los testigos nativos y mejorados en promedio mostraron mayor NGH (25.8 %) que los grupos de tallos gemelos. El Híbrido San Marcos fue el de mayor NGH (Cuadro 10).

El número de granos es la variable más sensible a las variaciones ambientales como temperatura, agua y nutrimentos en el suelo.

### **Peso de grano**

El valor medio de esta variable corresponde a la suma de los pesos de grano de las mazorcas principales de ambos tallos gemelos, es decir, se registró el peso del grano de las dos mazorcas respectivas a la línea gemela particular. El 26.9 % de líneas con el carácter tallos gemelos mostraron pesos de grano entre 60 y 70 g. Estas líneas fueron: 6 líneas del grupo 1040G (2451, 2456, 2457, 2458 y 2461) y una del 1053G (2470). El 73.1 % de las líneas restantes presentaron menos de 59.9 g de PG; la línea que tuvo el menor PG fue la 2452 (Cuadro 3A). Al hacer la comparación de medias entre, los grupos de tallos gemelos no se observaron diferencias significativas en PG.

Del grupo de testigos, se encontraron diferencias significativas en las líneas originales, la línea 1053Or presentó 17.3 % más peso de grano que la 1041Or. Al compararlas con su grupo de tallos gemelos la 1041Or no presentó diferencias con el 1041G. Sin embargo, la 1053Or tuvo 35.4 % más PG que la 1053G.

Los compuestos balanceados tuvieron diferencias con los grupos de líneas de tallos gemelos y la línea 1041Or. En promedio presentaron 35.1 % más peso de grano que los grupos de tallos gemelos y 13.7 % más que la 1041Or.

En las poblaciones nativas, la población Huexotla tuvo su PG 27.5 % mayor que las poblaciones de grano azul (Chalco-352 y Oaxaca 394). El material mejorado Híbrido San José fue el que mayor PG registró de todos los genotipos estudiados. En promedio este grupo de materiales presentó 41 % más PG que los grupos de tallos gemelos y sólo 9 % más peso de grano que los compuestos balanceados (Cuadro 10).

El peso de grano depende principalmente de la relación fuente-demanda durante el periodo de llenado de grano. Poneleit y Egli (1979) señalan que la planta de maíz puede ajustar más rápidamente su rendimiento mediante cambios en el número de granos que en el peso de los mismos, cuando se encuentran bajo condiciones adversas.

### **Peso de 100 granos**

En P100G de las 26 líneas con carácter tallos gemelos 34.6 % presentaron pesos de 15 a 17.5 g. Estas líneas son: 2446, 2449, 2450 2451, 2455 y 2461 (grupo 1040G); 2463 (grupo 1041G) y la línea 2473 (grupo 1053G), esta línea fue la que mayor peso registró

(17.5 g) y en 65.4 % de las líneas restantes, su P100G fue menor a 14.9 g. La línea 2459 fue la de menor peso (Cuadro 3A).

Entre grupos de tallos gemelos no se encontraron diferencias significativas al hacer la comparación de medias.

En los testigos se presentaron diferencias entre las líneas originales, la línea 1053Or registró 27.5 % más P100G que la 1041Or y 35.8 % más que el grupo 1053G. La 1041Or registró 16.9 % más P100G que su grupo de líneas 1041G (Cuadro 10).

Los compuestos balanceados mostraron diferencias con los grupos de líneas de tallos gemelos y la línea 1053Or. En promedio presentaron 22.8 % menos peso que la 1053Or y 19.5 % más P100G que los grupos de gemelos.

La población nativa Chalco-352 presentó el menor peso de grano y de los materiales mejorados H-San José fue el que tuvo el mayor peso que el resto de los grupos evaluados (Cuadro 10). Estos materiales presentaron 45 % más P100G que los grupos de tallos gemelos.

Barrales *et al.* (1984) señalan que las condiciones de humedad durante el periodo de floración a inicio de formación de grano es particularmente crítico para el rendimiento de grano.

### **Índice de cosecha**

En las 26 líneas con carácter tallos gemelos, 7.7 % registró IC mayor a 0.4, estas líneas fueron: 2454 y 2456 del grupo 1040G. El 61.5 % presentó un intervalo de 0.3 a 0.4 y

con un IC menor a 0.3 se encontró el 30.8 % restante de líneas, la línea 2452 (1040G) fue la de menor IC (Continuación Cuadro 2A).

El índice de cosecha es la masa del grano como proporción del total de biomasa que es la cantidad de material vegetal existente. El IC del maíz cultivado en condiciones favorables varía de 0.2 en cultivares locales no mejorados a cerca de 0.3-0.4 en cultivares tropicales mejorados y a más de 0.5 en cultivares precoces de zonas templadas (Fischer y Palmer, 1984).

Como se puede observar, el IC de los genotipos evaluados fue bajo pues como mencionan Fischer y Palmer (1984); el índice de cosecha es altamente sensible a factores ambientales como la temperatura; en el momento de la floración tal estrés es catastrófico, lo que puede resultar en granos vacíos o en una seria reducción del número de granos de la mazorca, como se evidenció con los resultados de este trabajo.

Haciendo un resumen del comportamiento general de los 35 genotipos en estudio; los testigos, en todas las variables, fueron superiores a las líneas que poseen el carácter tallos gemelos, exceptuando para ASF e IC. En ASF las líneas gemelas fueron más sincrónicas entre floraciones; en IC, no hubo diferencias entre los grupos estudiados. Al hacer la comparación de medias no se encontraron diferencias en ninguno de los grupos de líneas de tallos gemelos evaluados en esta variable (Cuadro 10).

De las 26 líneas evaluadas que poseen el carácter tallos gemelos, las líneas que reunieron mayor número de características sobresalientes fueron: 2451, 2454, 2455, 2457, 2458, 2461 (grupo 1040G); 2463, 2468 (1041G), 2470 y 2472 (1053G) (Cuadro 11), estas líneas pueden considerarse como los mejores arquetipos de tallos gemelos.



Los compuestos balanceados fueron superiores a las líneas gemelas en todas las variables, esto es debido a que fueron formados con una mezcla balanceada de semillas de las líneas previamente seleccionadas que sobresalieron en vigor, frecuencia de tallos gemelos, floración y rendimiento de cada grupo de gemelos (1040G, 1041G y 1053G). La diversidad de las líneas seleccionadas y la recombinación entre ellas, favoreció la interacción de los genes y contribuyó a maximizar la expresión de sus características de manera positiva en rendimiento, precocidad y vigor.

**Cuadro 10.** Comparación de medias de las variables de componentes del rendimiento en los diferentes grupos de tallos gemelos y no gemelos. Montecillo, Estado de México 2011.

GRUPOS	No.	Biomasa	Longitud	Diámetro		Número		Peso		IC
		Total (g)	Mazorca (cm)	Mazorca (cm)	Olote (cm)	Hileras por mazorca	Granos por Hilera	Grano/mazorca (g)	100 granos (g)	
1040 G	16	150.7 e	10.5 c	3.3 e	2.0 c	14.5 e	19.4 e	49.8 c	14.2 e	0.34 a
1041 G	6	165.7 d	11.7 c	3.4 d	1.9 c	15.2 d	19.7 e	47.6 c	13.8 e	0.28 a
1053 G	4	160.1 d	11.0 c	3.4 d	2.0 c	14.6 e	21.1 c	53.1 c	14.7 e	0.34 a
1041 Original	1	182.1 d	11.4 c	3.8 c	1.6 d	19.0 a	23.8 c	66.8 c	16.6 d	0.37 a
1053 Original	1	206.9 c	13.5 b	4.0 c	2.0 c	14.9 e	26.5 c	82.2 b	22.9 c	0.40 a
Compuestos balanceados ¥										
CB Gemelos	1	222.8 c	11.7 c	3.6 d	2.1 c	14.7 e	21.4 c	80.8 b	17.5 d	0.36 a
CB No Gemelos	1	215.2 c	12.1 c	3.9 c	2.3 b	17.1 b	22.6 c	73.9 b	18.0 d	0.37 a
Nativos										
Azul Chalco 352	1	249.1 c	14.1 b	4.2 b	1.6 d	15.0 d	28.8 b	64.6 c	22.9 c	0.26 a
Azul Oax 394	1	187.8 d	10.5 c	3.3 e	1.6 d	11.3 g	20.2 d	63.7 c	25.3 b	0.32 a
Blanco Huexotla	1	205.0 c	12.8 b	4.0 c	1.6 d	13.3 f	25.8 c	88.5 b	27.8 b	0.43 a
Mejorados										
Blanco H-San José	1	310.1 a	13.6 b	4.7 a	3.0 a	15.8 c	24.7 c	118.5 a	30.3 a	0.38 a
Amarillo H-San Marcos	1	269.3 b	15.9 a	3.8 c	2.3 b	14.1 e	29.6 a	89.3 b	26.4 b	0.33 a
DMS		117.9	3.7	0.9	0.6	3.7	9.1	44.8	6.3	0.22

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ¥ Los compuestos balanceados de gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de líneas de mayor y menor frecuencia de gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinados.

**Cuadro 11.** Caracteres sobresalientes en las líneas que poseen el carácter tallos gemelos. Montecillo, Estado de México, 2011.

Grupo	Línea	Variables																
		Frecuencia	T Gemelos	AP	AM	HT	HAM	DFM	DFF	ASF	BT	LMZ	DM	DO	NHM	NGH	PGM	P100G
1040G	2451	+		+			+	+		+					+	+	+	
1040G	2454	+									+	+		+	+	+	+	
1040G	2455	+	+	+	+					+	+	+		+	+			+
1040G	2457	+								+	+				+	+		
1040G	2458				+	+	+	+		+					+	+		
1040G	2461		+	+	+					+		+		+		+		+
1041G	2463	+			+					+	+	+		+	+			+
1041G	2468	+			+	+				+	+	+		+				
1053G	2470	+	+	+	+					+	+	+		+	+	+		
1053G	2472	+	+	+						+	+	+		+	+			

característica sobresaliente, AP= altura de planta; AM=altura de mazorca; HT= hojas totales por tallo; HAM= hojas arriba de la mazorca; DFF=días a floración femenina; DFM=días a floración masculina y ASF= asincronía floral; BT= biomasa total; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; DO= diámetro de olote; NHM= número de hileras por mazorca; NGH= número de granos por hilera; PG= peso de grano; P100G= peso de 100 granos, IC= índice de cosecha.

Los testigos superaron a las líneas de tallos gemelos, en todas las variables exceptuando en la asincronía floral, donde éstos presentaron más días entre las dos floraciones. Cabe señalar que el testigo que más sobresalió fue el Híbrido H-San José; las características en las cuales fue superior a todos los genotipos evaluados fueron: AP, HAM, BT, DM, PGM y P100G.

#### 2.4.5. Comparación agronómica entre tipos de plantas gemelas y no gemelas

Esta comparación se hizo entre plantas de tallos gemelos con plantas de tallo individual de la misma línea y de la línea original. En el Cuadro 12 se observa que en la variable HT se encontraron diferencias significativas, y altamente significativas en las variables AP, AM, DFM y DFF en los tres tipos de planta: plantas de tallos gemelos (TG), plantas no gemelas provenientes de líneas que poseen el carácter de tallos gemelos (TNG) y

plantas de líneas originales que no tienen el carácter de tallos gemelos (LOr). Los coeficientes de variación estuvieron bajos, exceptuando el correspondiente a la asincronía floral.

**Cuadro 12** .Cuadrados medios de las variables morfológicas en los diferentes tipos de plantas. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	AP	AM	HT	HAM	DFM	DFF	ASF
Repetición	2	2082.1*	460.8 <sub>NS</sub>	0.8 <sub>NS</sub>	0.03 <sub>NS</sub>	3.35 <sub>NS</sub>	0.2 <sub>NS</sub>	4.3*
Tipo de planta	2	7821.8**	2982.3**	4.0*	0.02 <sub>NS</sub>	168.5**	110.4**	3.2 <sub>NS</sub>
Bloque x Tallo	4	449.9 <sub>NS</sub>	35.2 <sub>NS</sub>	0.8 <sub>NS</sub>	0.04 <sub>NS</sub>	0.9 <sub>NS</sub>	1.9 <sub>NS</sub>	3.8 <sub>NS</sub>
Error	165	643.02	280.1	0.8	0.3	11.8	11.7	1.1
CV (%)		16.2	21.5	5.6	12.1	4.0	3.9	48.6

\*\*, \*, NS= indican diferencias altamente significativa, significativa, y no significativas, respectivamente  $p=0.05$ ; GL= grados de libertad, AP= altura de planta; AM=altura de mazorca; HT= hojas totales por tallo; HAM= hojas arriba de la mazorca; DFF=días a floración femenina; DFM=días a floración masculina y ASF= asincronía floral.

En la comparación de medias se observa que no hubo diferencias en AP entre los TG y TNG. Mientras que las plantas provenientes de líneas originales fueron 25 % más altas que las plantas de TG y 23.3 % más que las TNG (Cuadro 13). Las líneas con el carácter tallos gemelos han sido seleccionadas para porte bajo y es notable el comportamiento de gemelas y no gemelas entre sí es similar para este carácter.

Para la variable AM en la comparación de medias (Cuadro 13) no se encontraron diferencias entre las plantas de TG y TNG. Sin embargo, las plantas provenientes de líneas originales presentaron mayor AM que las plantas de TG y TNG (30 % y 28.8 %, respectivamente).

Contrario a lo registrado por Pérez (2004), quien encontró diferencias entre los dos tipos de planta; menciona que la altura de la mazorca en las plantas no gemelas provenientes de líneas que poseen el carácter tallos gemelos fue 7 % mayor que la de las plantas gemelas. Pero en esta variable no se encontraron diferencias en los dos tipos de planta.

En lo que se refiere a las variables: HT y HAM en los valores medios no se encontraron diferencias entre los diferentes tipos de planta (Cuadro 13) y está en concordancia con lo que indica Pérez (2004), de que la selección practicada no ha modificado este carácter en las plantas de tallos gemelos. Esto es importante pues las hojas superiores, durante el llenado de grano, son las que interceptan gran parte de la radiación solar incidente; al haber un buen número de hojas arriba de la mazorca habrá mayor disponibilidad de asimilados provenientes de la fotosíntesis que favorecerán el llenado de grano.

En la comparación de medias, para DFM y DFF, las plantas de TG y TNG no mostraron diferencias entre ellas, pero sí con las plantas de las líneas originales éstas fueron 2.9 días más precoces que las plantas de TG y TNG (Cuadro 13).

Los valores medios de ASF no mostraron diferencias entre las plantas de TG y TNG. Las líneas originales en comparación con los dos tipos de plantas antes mencionados, sí fueron diferentes ya, que presentaron 0.9 días más de ASF. Contrario a lo registrado por Pérez (2004), quienes mencionan que las plantas de tallos gemelos eran más tardías en floración masculina y femenina (6 y 5 días, respectivamente) en comparación con las no gemelas, en las líneas evaluadas no se encontraron diferencias entre los dos

tipos de planta. La selección de líneas posterior al estudio de Pérez (2004) ha favorecido las plantas de tallos gemelos en cuanto a precocidad. Esto es importante ya que las variedades precoces generalmente alcanzan a evadir los periodos de deficiencias de agua que se manifiestan cuando hay baja precipitación pluvial (Barrales *et al.*, 1984).

**Cuadro 13.** Comparación de valores medios de las variables morfológicas en los diferentes tipos de plantas. Montecillo, Estado de México, 2011.

Tipo de Planta	Altura		Hojas		Días a Floración		Asincronía
	planta (cm)	mazorca (cm)	tallo (Número)	Arriba mazorca (Número)	masculina (Días)	femenina (Días)	floral (Días)
No gemelos	157.0 b	76.0 b	16.9 a	4.5 a	85.6 a	87.9 a	2.3 b
Gemelos	152.1 b	77.2 b	16.5 a	4.4 a	87.6 a	89.6 a	2.1 b
L Original	204.8 a	108.5 a	16.8 a	4.5 a	81.2 b	84.8 b	3.0 a
DSM	21.4	14.1	0.8	0.5	2.9	2.9	0.9

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

#### 2.4.6. Componentes del rendimiento

En el análisis realizado se observan diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en las variables: BT, LM, DM, NH y P100G. En las variables NGH y PG se encontraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ). En las variables: DO e IC no hubo diferencias entre los tres tipos de planta (Cuadro 14).

**Cuadro 14.** Cuadrados medios de las variables de los componentes del rendimiento en los diferentes tipos de planta. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	BT	LM	DM	DO	NHM	NGH	PG	P100G	IC
Repetición	2	2297.9 <sub>NS</sub>	1.9 <sub>NS</sub>	0.0001 <sub>NS</sub>	0.01 <sub>NS</sub>	3.0 <sub>NS</sub>	5.9 <sub>NS</sub>	287.2 <sub>NS</sub>	4.4 <sub>NS</sub>	0.0009 <sub>NS</sub>
Tipo de planta	2	5844.1**	51.8**	3.1**	0.26 <sub>NS</sub>	36.1**	323.8*	5910.6*	134.3**	0.01 <sub>NS</sub>
Blo xTrat	4	5243.6 <sub>NS</sub>	3.5 <sub>NS</sub>	0.1 <sub>NS</sub>	0.04 <sub>NS</sub>	1.2 <sub>NS</sub>	12.4 <sub>NS</sub>	939.2*	5.0 <sub>NS</sub>	0.01 <sub>NS</sub>
Error	165	2059.5	2.3	0.1	0.06	2.8	13.5	361.6	8.1	0.009
CV (%)		28.12	13.9	10.8	13.0	11.2	18.3	36.2	19.5	30.0

\*, \*\*, NS=indican diferencias significativas, altamente significativas y no significativas respectivamente  $p=0.05$ ; BT= biomasa total; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; DO= diámetro de olote; NHM= número de hileras por mazorca; NGH= número de granos por hilera; PG= peso de grano por mazorca; P100G= peso de 100 granos; IC= índice de cosecha.

En el Cuadro 15 se presentan los valores medios de las variables de los componentes de rendimiento. Las pruebas de medias no mostraron diferencias significativas en las plantas de LOr y TG en la variable BT. Las plantas de tallos gemelos mostraron 29 % más biomasa al compararlas con las TNG. Es importante aclarar que en el valor de TG se sumaron los pesos de ambos tallos.

En los valores medios no hubo diferencias en LM entre plantas de TNG y líneas originales. En ambos tipos, sus mazorcas fueron más largas (1.3 cm) en comparación con las plantas de TG. Esto coincide con lo registrado por Pérez (2004) que menciona que las mazorcas de tallos gemelos son más pequeñas que las de no gemelos. Los tres tipos de planta presentaron mediana longitud de mazorca; esto fue debido al mal temporal que prevaleció en el ciclo de cultivo del experimento.

Se encontraron diferencias en los valores medios de DM en los tres tipos de plantas. Las plantas de las líneas originales tuvieron las mazorcas 18 % más gruesas que las de TG y 10.3 % más que las de TNG. Las plantas de TG presentaron DM menor (8.6 %) con respecto a las de TNG. En DO no se encontraron diferencias en los valores medios entre los tres tipos de planta. En NH las plantas TG y TNG tuvieron un comportamiento similar en sus valores medios. Sin embargo, las líneas originales mostraron diferencias significativas, siendo éstas las que mayor NH presentaron de los tres tipos de planta. En promedio las plantas TG y TNG presentaron 13.5 % menos hileras que las plantas de las líneas originales.

En NGH se encontraron diferencias en sus valores medios en los tres tipos de planta. Las plantas de líneas originales fueron superiores a las plantas de TG y TNG (27.7 y 14 %, respectivamente) y las de TNG presentaron 15.7 % más NGH que las de TG (Cuadro 15).

Para PG no se encontraron diferencias significativas entre las plantas de TG y TNG. Es interesante ver que aun cuando en esta variable se sumó el PG de las mazorcas principales de ambos tallos en las plantas gemelas, éste no fue superior al de TNG. Esto fue debido a que la planta de TG tuvo que repartir los fotosintetizados en ambas mazorcas, de ahí que presentaran menor LM, DM, NHM NGH y en consecuencia menor PG. Al compararlas con las plantas de las líneas originales sí se encontraron diferencias en sus valores medios. Fueron las plantas de las líneas originales las de mayor PG (31.2 %) en comparación con las de TG y TNG. Sin embargo el ambiente del cultivo no favoreció la expresión del potencial genético de los genotipos. Al respecto Christiansen (1982), menciona que las variaciones del rendimiento en los cultivos



dependen en 60 a 80 % de los efectos ambientales, sobre todo de la temperatura y la precipitación.

Entre plantas de TG y TNG no se encontraron diferencias en sus valores medios para P100G. Pero al comparar los valores medios de éstas con el de las plantas de las líneas originales, si hubo diferencias, siendo las plantas de líneas originales las que mostraron mayor P100G; 27.3 % más en comparación con los otros dos tipos de planta.

En la variable IC no se encontraron diferencias significativas en los valores medios entre los tres tipos de plantas (Cuadro 15).

En general, se presentaron valores bajos en los componentes del rendimiento, esto fue debido, como ya se ha mencionado al mal temporal y demás factores adversos (plagas rizófagas) que prevalecieron durante el ciclo agrícola 2011, en el que se evaluaron los materiales. Reyes (1990) menciona que la longitud de la mazorca y su número son los caracteres de mayor importancia por ser elementos correlativos con el rendimiento de grano; tales componentes son: longitud, número de hileras, peso del grano y número de mazorcas por planta. Los atributos anteriores tienen baja heredabilidad; es decir, se ven sumamente afectados por el ambiente.

**Cuadro 15.** Comparación de los valores medios de las variables de los componentes del rendimiento en los diferentes tipos de planta. Montecillo, Estado de México, 2011.

Tipo de Planta	Biomasa	Longitud	Diámetro		Número		Peso		IC
	Total (g)	Mazorca (cm)	Mazorca (cm)	Olote (cm)	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Grano (g)	100 granos (g)	
No gemelo	132.9 b	11.7 a	3.5 b	2.0 a	15.2 b	21.6 b	44.5 b	15.2 b	0.3 a
tallo gemelo	187.4 a	10.2 b	3.2 c	1.9 a	14.2 b	18.2 c	59.0 b	13.6 b	0.3 a
Loriginal	194.5 a	12.4 a	3.9 a	1.8 a	17.0 a	25.2 a	74.5 a	19.8 a	0.4 a
DSM	38.2	1.3	0.3	0.2	1.4	3.1	16.0	2.4	0.08

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). BT= biomasa total; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; DO= diámetro de olote; NHM= número de hileras por mazorca; NGH= número de granos por hilera; PG= peso de grano por mazorca; P100G= peso de 100 granos; IC= índice de cosecha.

#### 2.4.7. Comparación de líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos

Al realizar la prueba de contrastes ortogonales entre las líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos dentro de cada grupo: 1040G, 1041G y 1053G, se encontró que en el grupo 1040G, hubo diferencias significativas en las variables morfológicas: altura de planta y altura de mazorca (Cuadro 3A). En las variables de componentes del rendimiento se presentaron diferencias: en biomasa total, longitud de mazorca, diámetro de olote, e hileras por mazorca (Cuadro 4A).

En el grupo 1041G al comparar las líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos no se encontraron diferencias en ninguna de las variables agronómicas estudiadas (Cuadro 3A y 4A).

Al comparar las líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos del grupo 1053G se encontraron diferencias significativas únicamente en dos variables de componentes del rendimiento: número de hileras y peso de 100 granos. En la variable número de hileras por mazorca, las líneas de alta frecuencia presentaron mayor número y en peso de 100 granos fueron las de baja frecuencia las de mayor peso (Cuadro 4A).

## **2.5. CONCLUSIONES**

Con base en los objetivos e hipótesis planteados, conforme a los resultados obtenidos se concluye:

Las líneas de maíz que poseen el carácter tallos gemelos tienen un comportamiento diferente al de las líneas originales (que no poseen el carácter de tallos gemelos); en 15 de las 16 variables evaluadas los testigos fueron superiores a las líneas gemelas (exceptuando en asincronía floral). Es importante mencionar que la selección y recombinación realizada a las líneas que poseen el carácter de tallos gemelos durante varios ciclos, ha permitido aumentar simultáneamente el porcentaje de emergencia y frecuencia de tallos gemelos en campo, se ha conservado un porte bajo de planta que es deseable y ha favorecido en la disminución de días entre las dos floraciones.

Los compuestos balanceados tuvieron un mejor comportamiento que las líneas gemelas en todas las variables.

Entre plantas de tallos gemelos y no gemelos dentro de una misma línea no se encontraron diferencias en lo que respecta a su comportamiento agronómico.

Al comparar líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos dentro de cada grupo; el grupo 1040G presentó diferencias entre líneas de alta y baja frecuencia en las variables: altura de planta, altura de mazorca, biomasa total, longitud de mazorca, diámetro de olote e hileras por mazorca, en estas variables las líneas de baja frecuencia presentaron valores superiores.

El grupo 1053G presentó diferencias significativas entre líneas de alta y baja frecuencia, únicamente en dos variables de componentes del rendimiento: número de hileras y peso de 100 granos.

En el grupo 1040G no hubo diferencias entre líneas de baja y alta frecuencia en las variables estudiadas.

De las 26 líneas evaluadas que poseen el carácter de tallos gemelos, las líneas que reunieron mayor número de características sobresalientes fueron: 2451, 2454, 2455, 2457, 2458, 2461 (grupo 1040G); 2463, 2468 (1041G), 2470 y 2472 (1053G).

## 2.6. LITERATURA CITADA

**Barrales, D. S., A. Muñoz O. y D. Sostres R. 1984.** Relaciones termopluviales en familias de maíz bajo condiciones de temporal. *Agrociencia* 58: 127- 139.

**Castro, G. M. y S. Rodríguez H. 1979.** Estudio preliminar del potencial de plantas de maíz con tallos gemelos. *Fitotecnia*, 2 (3):39-49.

Christiansen, M. N. 1982. World environmental limitations to food and fiber culture. *In:Breeding plants for less favorable environmental*. Christiansen M. N. and C. F. Lewis, eds, Wiley, New York. pp: 1-11.

**Cruz H. y Jeglay, Y. 2006.** Relación suelo-planta- hombre en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Facultad de Agronomía. Postgrado en ciencia del suelo. Maracay. Universidad Central de Venezuela. [En Línea]. Disponible en: <ftpctic.agr.ucv.ve/intranet/postgrado/suelo/maiz.doc> (revisado el 13 de mayo 211).

**Espinoza, J. M., C. Vega, E. Navarro y G. A. Burciaga. 1998.** Poliembrionía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana* 9 (2): 83-88.

**Fischer, K. S. and A. F. Palmer. 1984.** Tropical maize. *In: PR.Goldsworthy & N. M. Fischer*, eds. *The physiology of tropical field crops*. Wiley & Sons. New York, USA. pp: 213-248.

**García, E. 1988.** Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köeppen. Instituto de Geografía, Universidad Autónoma de México. México. 217 p.

**Gil, M. A., P. A. López, A. Muñoz O. y H. López Sánchez. 2004.** Variedades criollas de maíz (*Zea mays L.*) en el estado de Puebla, México: diversidad y utilización. *In Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales*. Chávez-Servia, J.L., J. Tuxill y D.I. Jarvis (eds). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Cali, Colombia. pp: 18 -25.

**Poneleit, C. G. and D.B. Egli.1979.** Kernel growth rate and duration in maize as affected by plant density and genotype. *Crop Sci.* 19:385-388.

**Rebolloza, H. H., J. Espinoza V., D. Sámano G. y V. M. Zamora V. 2011.** Herencia de la poliembrionía en dos poblaciones experimentales de maíz. *Fitotecnia Mexicana.* 34 (1): 27-33.

**Reyes, C. P. 1990.** El maíz y su cultivo. AGT Editor. México. 460 p.

**Rivera, J. A. 1970.** Efecto de la selección masal para altura de planta sobre otros caracteres en dos variedades de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. E.N.A. Chapingo, México. 80 p.

**Tanaka A. y J. Yamaguchi. 1972.** Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Kohashi, J. (trad.) Colegio de Postgraduados. ENA. Chapingo, México. 62 p.

## 2.7. ANEXOS

**Cuadro 1A.** Valores medios de las variables morfológicas de los 35 genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.

No	Grupo	Línea	Frecuencia	AP	AM	HT	HAM	DFM	DFF	ASF
			Tallos gemelos (%)	(cm)	(cm)	(Número)	(Número)	(Días)	(Días)	(Días)
1	1040G	2446	58.6	147.4 t	74.1 o	16.5 i	4.6 d	88.3 g	90.2 g	1.8 d
2	1040G	2447	65.5	119.6 za	54.2 u	15.9 m	4.0 f	87.3 j	88.3 j	1.0 e
3	1040G	2448	33.1	152.2 r	71.8 o	16.1 i	4.4 e	84.8 p	87.3 k	2.5 d
4	1040G	2449	68.3	142.8 u	64.1 q	16.3 i	4.4 d	86.5 l	88.7 i	2.2 d
5	1040G	2450	57.5	124.1 z	54.0 u	16.2 i	4.5 d	87.3 j	88.8 i	1.5 e
6	1040G	2451	50.4	148.0 t	65.7 p	16.8 i	5.2 c	81.5 v	83.0 q	1.5 e
7	1040G	2452	22.5	114.5 za	68.5 p	16.7 i	4.2 e	81.3 v	84.0 o	2.7 d
8	1040G	2453	60.6	125.3 y	61.9 s	16.0 j	4.3 e	84.5 q	87.2 l	2.7 d
9	1040G	2454	39.9	139.6 v	62.7 r	15.6 n	4.1 e	85.8 n	87.3 k	1.5 e
10	1040G	2455	45.0	170.6 l	92.0 i	17.9 c	4.4 d	82.7 t	85.2 n	2.5 d
11	1040G	2456	26.7	132.1 x	72.8 o	16.9 h	4.2 e	86.3 m	88.7 i	2.3 d
12	1040G	2457	45.0	142.2 u	77.1 n	16.3 i	4.4 d	83.5 s	86.3 m	2.8 d
13	1040G	2458	21.6	164.8 n	67.8 p	17.2 h	5.1 c	81.5 v	83.2 q	1.8 d
14	1040G	2459	34.2	137.9 w	58.1 t	16.5 i	4.5 d	83.7 r	85.8 n	2.2 d
15	1040G	2460	60.7	175.0 k	88.0 l	17.2 h	4.5 d	87.2 k	89.8 h	2.7 d
16	1040G	2461	12.8	190.9 d	105.0 f	17.8 f	4.4 d	85.8 n	88.5 i	2.7 d
17	1041G	2463	52.8	159.5 o	74.6 o	17.1 h	4.2 e	89.7 e	91.5 f	1.8 d
18	1041G	2464	54.9	147.7 t	77.0 n	17.6 g	4.8 d	91.8 b	94.0 b	2.2 d
19	1041G	2465	65.4	156.1 p	92.9 h	17.9 d	4.6 d	92.0 a	93.7 c	2.0 d
20	1041G	2466	64.8	165.3 m	80.8 m	16.7 i	4.4 d	91.2 c	94.0 b	2.8 d
21	1041G	2467	36.5	150.3 s	84.1 m	16.5 i	4.3 e	89.7 e	92.0 e	2.3 d
22	1041G	2468	43.5	178.8 h	83.2 m	17.8 e	5.0 c	91.0 c	93.2 d	2.2 d
23	1053G	2470	48.9	176.3 j	91.4 j	17.2 h	4.5 d	89.2 f	91.5 f	2.3 d
24	1053G	2471	42.9	153.6 q	71.2 o	17.2 h	4.8 d	90.5 d	92.7 d	2.2 d
25	1053G	2472	42.1	190.3 e	97.8 g	16.8 i	4.3 e	86.8 k	88.5 i	1.7 d
26	1053G	2473	70.2	158.2 o	79.8 m	15.9 k	3.8 g	88.2 h	90.2 g	2.2 d
27	CBalanceado	CBGEM*	41.5	185.3 f	90.9 k	16.1 i	4.7 d	85.7 o	88.3 j	2.3 d
28	CBalanceado	CBNOGEM*	22.1	178.1 i	83.5 m	15.9 k	4.5 d	81.2 v	83.8 o	2.7 d
29	Loriginal	1041 Or *	0	194.9 d	105.8 e	17.7 g	4.6 d	80.3 x	83.3 q	3.0 d
30	Loriginal	1053 Or *	0	214.7 c	111.2 d	15.9 l	4.4 d	82.0 u	86.3 m	3.0 d
31	Nativo Azul	Chalco-352 *	0	249.1 a	176.0 a	20.6 a	4.3 e	92.0 a	99.0 a	7.0 b
32	Nativo Azul	Oaxaca-394 *	0	222.6 b	139.7 b	17.3 h	4.0 f	88.0 i	92.7 d	4.3 c
33	Híbrido	H-San José *	0	256.1 a	141.9 b	18.8 b	5.6 a	81.3 v	85.7 n	4.3 c
34	Híbrido	H-San Marcos*	0	182.9 g	84.3 m	15.8 m	5.6 a	79.7 y	83.0 q	3.3 d
35	Nativo Blanco	Huexotla *	0	221.6 b	120.3 c	16.9 h	5.2 b	74.7 z	83.7 p	8.3 a
DSM				25.1	22.6	2.0	1.3	4.7	4.6	3.0

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). APL= altura de planta; AMZ=altura de mazorca; HT= hojas totales por tallo; HAM= hojas arriba de la mazorca; DFF=días a floración femenina; DFM=días a floración masculina y ASF= asincronía floral. \*Testigos.

**Cuadro 2A.** Valores medios de los componentes del rendimiento, de los 35 genotipos. Montecillo, Estado de México 2011.

No	Grupo	Línea	Frecuencia										
			T Gemelos (%)	BT	LMZ	DM	DO	NHM					
1	1040G	2446	58.6	139.7	h	11.1	e	3.3	j	2.0	i	14.8	f
2	1040G	2447	65.5	95.8	k	9.0	g	2.8	m	2.0	k	13.6	g
3	1040G	2448	33.1	169.8	g	11.9	e	3.3	j	1.9	l	13.7	f
4	1040G	2449	68.3	136.4	h	9.0	g	3.0	m	1.6	q	12.3	h
5	1040G	2450	57.5	130.7	h	9.4	g	3.4	i	1.9	m	14.5	f
6	1040G	2451	50.4	195.8	f	10.9	e	3.2	j	1.9	m	14.0	f
7	1040G	2452	22.5	100.8	j	9.3	g	2.9	m	1.6	r	14.1	f
8	1040G	2453	60.6	130.0	i	10.5	e	3.4	i	2.2	f	15.8	c
9	1040G	2454	39.9	155.0	g	11.3	e	3.7	h	2.3	c	15.7	d
10	1040G	2455	45.0	186.9	g	11.3	e	3.7	h	2.3	d	15.6	d
11	1040G	2456	26.7	131.3	h	10.4	e	3.4	i	2.1	g	15.5	e
12	1040G	2457	45.0	172.8	g	11.3	e	3.3	j	1.9	l	13.5	g
13	1040G	2458	21.6	199.8	f	11.3	e	3.3	j	1.9	m	14.1	f
14	1040G	2459	34.2	125.6	i	10.6	e	2.7	n	1.5	s	13.5	g
15	1040G	2460	60.7	148.7	h	10.4	e	3.4	i	2.0	k	15.0	e
16	1040G	2461	12.8	192.4	f	10.5	e	3.9	e	2.4	b	15.6	d
17	1041G	2463	52.8	177.0	g	12.2	d	3.5	i	1.9	k	15.0	e
18	1041G	2464	54.9	142.7	h	10.7	e	3.2	j	1.8	n	15.0	e
19	1041G	2465	65.4	163.0	g	11.8	e	3.1	l	1.8	o	14.7	f
20	1041G	2466	64.8	163.1	g	11.8	e	3.5	i	1.9	l	14.9	e
21	1041G	2467	36.5	168.6	g	11.9	e	3.4	j	2.1	h	14.9	e
22	1041G	2468	43.5	179.5	g	11.5	e	3.5	i	2.0	j	16.6	c
23	1053G	2470	48.9	180.1	g	11.4	e	3.5	i	2.1	g	16.2	c
24	1053G	2471	42.9	137.1	h	11.6	e	3.2	k	1.8	n	13.2	g
25	1053G	2472	42.1	171.6	g	11.3	e	3.6	h	2.1	g	15.7	d
26	1053G	2473	70.2	151.8	g	9.8	f	3.3	j	1.8	n	13.2	g
27	CBalanceado	CBGEM*	41.5	222.8	d	11.7	e	3.6	h	2.1	g	14.7	f
28	CBalanceado	CBNOGEM*	22.1	215.2	e	12.1	d	3.9	e	2.3	e	17.1	b
29	Loriginal	1041 Or *	0	182.1	g	11.4	e	3.8	g	1.6	p	19.0	a
30	Loriginal	1053 Or *	0	206.9	f	13.5	c	4.0	d	2.0	k	14.9	e
31	Nativo Azul	Chalco-352 *	0	249.1	c	14.1	b	4.2	b	1.6	q	15.0	e
32	Nativo Azul	Oaxaca-394 *	0	187.8	g	10.5	e	3.3	j	1.6	r	11.3	i
33	Híbrido	H-San José *	0	310.1	a	13.6	c	4.7	a	3.0	a	15.8	d
34	Híbrido	H-San Marcos*	0	269.3	b	15.9	a	3.8	f	2.3	c	14.1	f
35	Nativo Blanco	Huexotla *	0	205.0	f	12.8	d	4.0	c	1.6	r	13.3	g
		DSM		133.5		4.25		0.8		0.4		3.7	

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) BT= biomasa total; LM=longitud de mazorca; DM=diámetro de mazorca; DO= diámetro de olote; NHM= número de hileras por mazorca. \*Testigos



**Continuación....Cuadro 2A**

No	Grupo	Línea	Frecuencia								
			T Gemelos (%)	NGH	PGM	P100G	IC				
1	1040G	2446	58.6	17.2	i	43.9	e	15.8	f	0.32	b
2	1040G	2447	65.5	15.6	k	30.1	g	12.5	f	0.31	b
3	1040G	2448	33.1	22.8	f	53.0	e	13.5	f	0.31	b
4	1040G	2449	68.3	16.2	j	45.2	e	15.3	f	0.36	b
5	1040G	2450	57.5	18.3	h	48.1	e	16.4	e	0.37	b
6	1040G	2451	50.4	23.8	f	67.3	e	15.5	f	0.33	b
7	1040G	2452	22.5	16.1	j	21.3	h	10.3	g	0.22	c
8	1040G	2453	60.6	14.8	k	46.7	e	14.5	f	0.36	b
9	1040G	2454	39.9	21.1	f	62.3	e	14.8	f	0.41	b
10	1040G	2455	45.0	20.2	g	38.2	f	16.0	f	0.23	c
11	1040G	2456	26.7	20.7	f	64.6	e	12.1	f	0.49	a
12	1040G	2457	45.0	23.0	f	60.2	e	14.5	f	0.35	b
13	1040G	2458	21.6	22.2	f	64.0	e	15.6	f	0.31	b
14	1040G	2459	34.2	20.8	f	36.8	f	9.6	h	0.29	b
15	1040G	2460	60.7	18.8	h	55.1	e	14.9	f	0.38	b
16	1040G	2461	12.8	18.9	h	60.1	e	15.6	f	0.30	b
17	1041G	2463	52.8	20.1	g	54.6	e	15.5	f	0.31	b
18	1041G	2464	54.9	18.7	h	38.0	f	12.5	f	0.26	c
19	1041G	2465	65.4	18.8	h	37.3	f	11.4	f	0.23	c
20	1041G	2466	64.8	21.3	f	50.9	e	14.9	f	0.31	b
21	1041G	2467	36.5	19.2	h	46.3	e	14.3	f	0.28	b
22	1041G	2468	43.5	19.9	g	58.5	e	13.9	f	0.32	b
23	1053G	2470	48.9	22.0	f	62.2	e	13.9	f	0.35	b
24	1053G	2471	42.9	21.5	f	45.7	e	13.4	f	0.37	b
25	1053G	2472	42.1	21.5	f	57.9	e	14.0	f	0.34	b
26	1053G	2473	70.2	19.3	h	46.7	e	17.5	d	0.30	b
27	CBalanceado	CBGEM*	41.5	21.4	f	80.8	c	17.5	d	0.36	b
28	CBalanceado	CBNOGEM*	22.1	22.6	f	73.9	d	18.0	d	0.37	b
29	Loriginal	1041 Or *	0	23.8	f	66.8	e	16.6	e	0.37	b
30	Loriginal	1053 Or *	0	26.5	c	82.2	c	22.9	c	0.40	b
31	Nativo Azul	Chalco-352 *	0	28.8	b	64.6	e	22.9	c	0.26	c
32	Nativo Azul	Oaxaca-394 *	0	20.2	g	63.7	e	25.3	b	0.32	b
33	Híbrido	H-San José *	0	24.7	e	118.5	a	30.3	a	0.38	b
34	Híbrido	H-San Marcos*	0	29.6	a	89.3	b	26.4	b	0.33	b
35	Nativo Blanco	Huexotla *	0	25.8	d	88.5	b	27.8	b	0.43	b
		DSM		9.2		46.3		6.1		0.2	

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). NGH= número de granos por hilera; PG= peso de grano por mazorca; P100G= peso de 100 granos; IC= índice de cosecha. \*Testigos

**Cuadro 3A.** Promedios, estimaciones y significancia en las variables morfológicas, en líneas de alta contra baja frecuencia de tallos gemelos en los grupos: 1040G, 1041G y 1053.

Líneas de Alta Vs Baja Frecuencia de gemelos	Número de Líneas	Altura		Hojas		Días a Floración		Asincronía
		Planta	Mazorca	P/Tallo	A/Mazorca	Masculina	Femenina	Floral
		(cm)	(cm)	(Número)	(Número)	(Días)	(Días)	(Días)
1040 AFG	7	138.2	66.4	16.4	4.5	85.0	87.0	2.0
Vs								
1040 BFG	9	153.2	76.2	16.8	4.4	84.6	86.9	2.3
Estimación		-17.6	-11.5	-0.5	0.1	0.7	0.3	-0.5
Significancia		*	*	NS	NS	NS	NS	NS
1041 AFG	4	157.2	81.3	17.3	4.5	91.2	93.3	2.2
Vs								
1041 BFG	2	164.5	83.7	17.2	4.7	90.3	92.6	2.3
Estimación		-7.3	-2.4	0.16	-0.2	0.8	0.7	-0.04
Significancia		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1053 AFG	3	173.4	86.8	17.1	4.5	88.8	90.9	2.1
Vs								
1053 BFG	1	158.2	79.8	15.9	3.8	88.2	90.2	2.2
Estimación		15.2	7	1.2	0.76	0.6	0.7	0.1
Significancia		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

AFG=Selección por alta frecuencia con plantas de tallos gemelos (> 35 %); BFG= Selección por baja frecuencia de plantas con tallos gemelos (< 34.5).

**Cuadro 4A.** Promedios, estimaciones y significancia en las variables de componentes de rendimiento, en líneas de alta contra baja frecuencia de tallos gemelos en los grupos: 1040G, 1041G y 1053G.

Líneas de Alta Vs Baja Frecuencia de gemelos	Número de Líneas	Biomasa	Longitud	Diámetro		Número		Peso		Índice de cosecha
		Total (g)	Mazorca (cm)	Mazorca (cm)	Olote (cm)	Hileras por mazorca	Granos por hilera	Grano/mazorca (g)	100 granos (g)	
1040 AFG	7	138.4	10.1	3.1	1.8	13.9	18.6	44.1	14.2	0.32
Vs										
1040 BFG	9	160.3	10.8	3.4	2.1	14.9	20.1	54.2	14.8	0.35
Estimación		-21.8	-0.73	-0.28	-0.22	-1.06	-1.51	-10.1	-0.01	-0.03
Significancia		*	*	*	*	*	NS	NS	NS	NS
1041 AFG	4	161.5	11.6	3.3	1.9	14.9	19.7	45.2	13.3	0.29
1041 BFG	2	174.0	11.7	3.5	2.0	15.8	19.5	52.4	13.9	0.30
Estimación		-12.6	-0.04	-0.1	-0.2	-0.8	0.2	-7.2	-0.6	-0.01
Significancia		NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
1053 AFG	3	162.9	11.4	3.4	2.0	15.0	21.6	55.3	15.0	0.35
1053 BFG	1	151.8	9.8	3.3	1.8	13.2	19.3	46.7	17.5	0.30
Estimación		11.2	1.6	0.1	0.2	1.8	2.4	0.4	-3.7	0.05
Significancia		NS	NS	NS	NS	*	NS	NS	*	NS

AFG=Selección por alta frecuencia con plantas de tallos gemelos (> 35 %); BFG= Selección por baja frecuencia de plantas con tallos gemelos (< 34.5).

# CAPÍTULO III

## VALORACIÓN NUTRACÉUTICA DEL GRANO DE MAÍZ DE LÍNEAS CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS

### 3.1. RESUMEN

El maíz, además de poseer un fuerte contenido socio-cultural, es el alimento básico en nuestro país, de ahí la importancia de estudiar las propiedades nutraceuticas de los diferentes genotipos, para conocer su calidad nutricional y con ello contribuir a mejorar la nutrición en la población. En el presente trabajo se evaluó la calidad nutraceutica (contenido de proteína, lisina, triptófano, aceite y cenizas) de grano de maíz de 26 líneas S<sub>5</sub> que poseen el carácter tallos gemelos. Esta semilla se obtuvo de aumentos de cruza fraternales en el ciclo agrícola Montecillo-2011. Como testigos se utilizaron dos líneas (1041Or y 1053Or); dos compuestos balanceados (gemelos y no gemelos); dos materiales mejorados y tres poblaciones nativas. Los resultados se analizaron bajo un diseño experimental Completamente al azar. Las líneas de tallos gemelos presentaron mayor contenido de proteína total, mientras que los testigos fueron superiores en contenido de triptófano y aceite. Los compuestos balanceados en todas las variables registraron valores superiores en comparación con las líneas de tallos gemelos. De las 26 líneas que tienen el carácter tallos gemelos, se identificaron líneas que poseen características bioquímicas sobresalientes son: 2448, 2449, 2450, 2452, 2453, 2461, 2465, 2466; 2467 y 2470.

**Palabras clave:** *Zea mays*, líneas de tallos gemelos, lisina, proteína de calidad, triptófano.

### 3.2. INTRODUCCIÓN

En México 28 millones de personas tienen acceso deficiente a la alimentación, el problema es grave, pues dos de cada tres personas en pobreza alimentaria viven en el campo, pero también involucra a las grandes ciudades del país. Nueve son los alimentos que proporcionan 75 % del suministro de energía alimentaria; y el maíz es el más importante pues es el que aporta más de la tercera parte del suministro de energía (CONEVAL, 2012). El apego al consumo del maíz, en la población más pobre del país, llega a tener la característica de alimento casi único, sobre todo en la población indígena; la forma de consumo más generalizada es la tortilla. En promedio 4 tortillas es lo que una persona come al día, ya que el consumo per cápita de tortilla es de 157 gramos diarios. El maíz, además de formar parte importante en la dieta de los mexicanos; está presente en la elaboración de más de 4 mil productos (almidón, fructuosa, aceites, cartón, chocolates, biocombustible, alimento animal) (ASERCA, 2012).

Existen diferentes tipos de grano de maíz que se cultivan en todo el mundo y varían significativamente en color, tamaño, forma y contenido nutricional, por ejemplo: harinoso, dentado, dulce, palomero, entre otros (Rooney *et al.*, 2004).

La planta de maíz produce un fruto que se le conoce con varios nombres: agrícolamente es una semilla; botánicamente es un cariósido y comercialmente es un grano o cereal (Esau, 1985). El grano de maíz es una de las semillas de cereal más grandes, generalmente pesa entre 250 y 300 mg cada uno (White y Johnson, 2003), pero hay algunos como el de la raza ancho que alcanza hasta 1 g de peso.

El grano maduro de maíz está integrado por distintos tejidos que conforman y ocupan diferente proporción: el embrión (12 %), bien desarrollado con todas las funciones estructurales y enzimáticas que requiere para el crecimiento y desarrollo de una nueva planta; el endospermo (82 %), estructura de almacenamiento del grano que constituye su principal reserva energética; que ésta permanentemente encerrado y adherido al pericarpio. El pericarpio o cubierta del grano (5 %), que protege a la semilla de la entrada de hongos y bacterias antes y después de la siembra. El restante 1 % corresponde a los restos del pedicelo en la base del grano (Kiesselbach, 1980; Pomeranz, 1987; Johnson, 2000 y Rooney *et al.*, 2004).

El pericarpio está formado por la pared del ovario; es una membrana resistente que recubre al grano y da protección a las partes internas. Contiene almidón, grasas, proteínas, cenizas, azúcares y fibras (Kiesselbach, 1980).

La aleurona o membrana externa (corresponde 2.2 % del peso del grano), que envuelve al endospermo, contiene pigmentos y es rica en proteínas. El endospermo, es el mayor componente con 82 a 90 % del peso total del grano, el cual está compuesto en su mayoría de almidón (suministro de energía para la germinación) y contiene además proteínas y prácticamente sin aceite (White y Johnson, 2003).

El embrión almacena proteínas, minerales y hormonas, las cuales son movilizadas por enzimas sintetizadas durante las etapas iniciales de la germinación. Es el depositario de 81 a 85 % del aceite contenido en la semilla; este aceite está compuesto principalmente de triglicéridos, que son altos en ácidos oleico y linoléico (Weber, 2003; White y Johnson, 2003; Rooney *et al.*, 2004).

Las condiciones genéticas y ambientales afectan en gran medida la calidad y composición del grano de maíz. Maíces dentados amarillos y blancos contienen alrededor de 8 a 11 % de proteína, 3.5 a 4.5 % de aceite, 1.5 a 2.0 % de cenizas, 1.5 a 2.1 % de fibra cruda, 1.4 a 2.0 % de azúcares solubles, 10 a 15 % de agua, y 70 a 80 % de almidón. (Pomeranz, 1987; Zuber y Darrah, 1987)

El consumo de maíz representa 39 % de las proteínas (29 gramos) y entre 15 a 56 % de las calorías totales diarias de la dieta de personas de unos 25 países en desarrollo, particularmente África y América Latina (Prasanna *et al.*, 2001). Sin embargo, el maíz normal tiene poco valor alimenticio, debido principalmente a su contenido no balanceado de aminoácidos (Gupta *et al.*, 2009). La proteína del maíz normal es de baja calidad, debido a que es deficiente en dos aminoácidos básicos, lisina y triptófano, aminoácidos esenciales para las funciones metabólicas, el desarrollo del intelecto y la masa muscular, durante el crecimiento y desarrollo de los seres humanos como para animales monogástricos (Villegas, 1981; Bressani, 1981). El término de “maíz normal” se utiliza para referirse al maíz común que no es QPM, es decir, que no tiene niveles mejorados de lisina y triptófano.

Ambos aminoácidos tienen funciones muy importantes, el triptófano es el precursor de la serotonina, uno de los neurotransmisores más importantes del sistema nervioso y la lisina interviene en funciones como el crecimiento y la reparación de tejidos y participa en la síntesis de anticuerpos y hormonas.

Existen genes mutantes (opacos (*o2*) y harinosos (*fl2*)), en maíz que significativamente afectan la composición y propiedades del grano. Como alternativa a la desnutrición y baja producción, en diversos países donde el cultivo del maíz es importante, en los

últimos años se trabaja con los llamados maíces de calidad proteínica (QPM, por sus siglas en inglés: Quality Protein Maize), los cuales contienen hasta 100 % más lisina y triptófano que los maíces comunes; de hecho, la calidad proteínica de los maíces QPM es similar a la de la leche (Bressani, 1994). Algunos maíces amarillos tienen significativamente altos niveles de pigmentos carotenoides y aceites. En 1977 después de 76 ciclos de selección, Dudley reportó que el contenido de aceite del híbrido alto en aceite (High oil corn); fue de 15 % comparado con 1 % de aceite de la variedad de bajo contenido de aceite (Hallauer, 2001). Nordstrom *et al.* (1972) registraron que al hacer la conversión alimenticia de maíz de alto contenido de aceite para raciones de engorda fue mejor que en el caso de maíz normal; también encontraron que se requería un suplemento menos proteico cuando se suministraba una dieta de maíz de alto contenido de aceite en la dieta. Los almidones, los lípidos y otros componentes del maíz se ven significativamente afectados por genes mutantes (*o2* y *fl2*), en el endospermo (Rooney *et al.*, 2004). La mutación *o2* recesiva en estado homocigótico confiere una mayor calidad (lisina y triptófano) a la proteína de maíz, pero no cambia la cantidad de proteína presente en el grano (Vivek, 2008).

Los nutraceuticos son sustancias químicas o biológicas activas que pueden encontrarse como componentes naturales de los alimentos o adicionarse a los mismos. Por ende, los productos nutraceuticos tienen la capacidad de fortalecer las condiciones saludables, sirviendo como auxiliar en el cuidado y mantenimiento de la salud, así como en la prevención de enfermedades y en la mejora de las funciones fisiológicas del organismo (Pérez, 2006).

El grano de maíz produce diversos tipos de compuestos fenólicos que son categorizados como simples, flavonoides y antocianinas. Todos los maíces contienen



fenólicos simples, mientras que solamente los maíces pigmentados como el azul o morado contienen cantidades significativas de antocianinas, que previenen el estrés oxidativo, cáncer, alto colesterol, arterioesclerosis y envejecimiento. También produce Carotenoides (carotenos, xantofilas, luteínas, Zeaxantina, Criptoxantinas) que ayudan a prevenir la degeneración macular y formación de cataratas y previenen enfermedades cardiovasculares; fitoesteroles son considerados como hipocolesterolémicos y precursores de enfermedades cardiovasculares; así como también es el maíz rico en fibra, ácido fólico inositol, ácidos grasos polinsaturados; fosfolípidos; Vitaminas (ácido fólico y tocoferoles) (Serna-Saldívar *et al.*, 2013).

Se han encontrado mutantes en maíz que desarrollan plantas gemelas fenotípicamente idénticas, provenientes de granos con doble embrión, que ofrecen la posibilidad de incrementar la frecuencia de este carácter mediante selección y así, lograr un mayor contenido de proteínas y aceites en el grano. En estudios realizados se seleccionaron líneas endogámicas con semilla de dos embriones, al comparar estas semillas con granos normales de la misma línea, las semillas, de doble embrión mostraron un incremento considerable en proteínas, en lisina y aceite (Rodríguez y Castro, 1978).

Vázquez *et al.* (2011) mencionan que el carácter de alta poliembriónía favorece en el incremento de la calidad nutricional del grano de maíz de una población poliembriónica comparada con una normal.

Lo más importante del maíz es su valor como alimento; de ahí la importancia de estudiar las propiedades nutraceuticos de los diferentes genotipos, para conocer su calidad nutricional y con ello contribuir a mejorar la nutrición en la población.

### **3.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la calidad nutracéutico de las semillas producidas por líneas contrastantes en la expresión de tallos gemelos comparadas con líneas con tallos no gemelos.

### **3.2.2. HIPÓTESIS**

Las líneas con mayor frecuencia de plantas de tallos gemelos producen grano con mayor calidad nutricional comparada con líneas de menor frecuencia de tallos gemelos y poblaciones normales.

Las líneas que poseen el carácter tallos gemelos tienen mayor calidad nutracéutico en sus semillas (mayor contenido en proteína, en lisina, en triptófano y aceite) en contraste con las líneas no gemelas, debido a que poseen mayor porcentaje de tejido embrionario.

### **3.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.3.1. Material genético**

Se utilizaron muestras de grano de maíz de 26 líneas S<sub>5</sub> que poseen el carácter tallos gemelos (TG). Esta semilla se obtuvo de aumentos de cruces fraternales en el ciclo agrícola Montecillo-2011. Estas líneas fueron formadas al introducir el carácter a tres líneas élite (1040, 1041 y 1053) del programa de Fisiotecnia Vegetal, Genética-IREGEP-CP.

Para este estudio se clasificaron en grupos por su línea original (1040G, 1041G y 1053G) y por la frecuencia de tallos gemelos (alta y baja). En las 26 líneas estudiadas se observó que el porcentaje de plantas con tallos gemelos aumentó con respecto al registro señalado en el ciclo agrícola previo (Montecillo 2010). Por lo que se reclasificaron, una línea de alta frecuencia (AFG) es aquella que tuvo más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) es la que tuvo semillas que producen plantas con tallos gemelos menor a 45.5 % (Cuadro 1). Así se tuvieron 14 líneas de alta frecuencia y 12 de baja frecuencia de tallos gemelos.

Como testigos se incluyeron dos líneas originales (1041Or y 1053Or); dos compuestos balanceados (gemelos y no gemelos); dos materiales mejorados: H-San José y H-San Marcos de grano amarillo y tres poblaciones nativas: Chalco-352 y Oaxaca-394 (poblaciones de maíz azul con alto contenido de proteína) y Huexotla (población local de maíz blanco).

Para tener un buen control de la pureza de las líneas, su multiplicación y obtención de las muestras de grano; éstas se sembraron y se aumentaron con polinizaciones fraternales en Montecillo, Estado de México, 2011.

**Cuadro 1.** Líneas clasificadas en grupos por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG), Montecillo, Estado de México 2011.

Líneas con carácter de tallos gemelos					
Grupos					
1040G		1041G		1053G	
Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia
2446	AFG	2463	AFG	2470	AFG
2447	AFG	2464	AFG	2471	BFG
2448	BFG	2465	AFG	2472	BFG
2449	AFG	2466	AFG	2473	AFG
2450	AFG	2467	BFG		
2451	AFG	2468	BFG		
2452	BFG				
2453	AFG				
2454	AFG				
2455	BFG				
2456	BFG				
2457	BFG				
2458	BFG				
2459	BFG				
2460	AFG				
2461	BFG				

Una línea de alta frecuencia (AFG) es aquella que tiene más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) es la que tiene plantas con tallos gemelos menor a 45.5 %.

### 3.3.2. Determinación de componentes nutraceuticos de las semillas de maíz

Las determinaciones de contenido de extracto etéreo, cenizas y proteína total en semillas completas de maíz se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad-Ganadería, ubicado en el Colegio de

Postgraduados, Campus Montecillo. Estas determinaciones se realizaron bajo el método publicado por la A.O.A.C. (Official Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists) en 1975. En estas pruebas se pesaron 10 g de semilla de cada material genético y fueron sometidas a un proceso de molienda; para ello, se utilizó un molino marca BRAUN® Aromatic KSM2, el número de malla utilizado fue de 0.5 mm.

### **Extracto etéreo (determinación de grasa cruda en grano entero)**

Esta determinación es una extracción continua de aceite contenido en una muestra con un disolvente orgánico. Éste se calienta, volatiliza para posteriormente condensarse sobre la muestra. El disolvente gotea continuamente a través de la muestra para extraer la grasa. El contenido de grasa se cuantifica por diferencia de peso entre la muestra o la grasa removida (Nielsen, 2003).

Primeramente se llevaron a peso constante los vasos del equipo Goldfish, estos se pesaron y colocaron junto con los porta dedales limpios en una estufa a 110 °C durante 14 horas, una vez transcurrido este tiempo, se colocaron en un desecador para enfriarse a temperatura ambiente. Utilizando pinzas de metal los vasos se colocaron en una balanza analítica marca OHAUS® (GA200), para registrar su peso con una precisión de 0.1 mg. Se depositó 1 g ( $\pm 0.001$ ) de muestra de grano molido en un papel filtro y se colocó dentro de un dedal limpio para posteriormente fijarlos en los soportes metálicos del equipo Goldfish (extractor de aceite). Se añadieron 25-30 mL de éter de petróleo a cada muestra y el vaso se fijó al condensador usando un anillo con rosca, apretando lo mejor posible para evitar fugas del éter; se levantaron las parrillas calientes hasta que tocaran los vasos para grasa y se dejaron en reflujo durante 6 horas

a partir del inicio de la ebullición. La velocidad de condensación fue de 5 hasta 6 gotas de éter por segundo y se vigiló que la circulación de agua fría fuera continua para evitar la evaporación del éter de petróleo. Al final de este tiempo (6 horas), se apagó totalmente el equipo y se dejó enfriar sin cerrar la llave del agua, una vez que dejó de gotear éter de la muestra de grano de maíz; se retiró ésta junto con el porta dedal y en su lugar se colocaron los tubos recolectores para recuperar el éter.

Una vez evaporado el éter casi en su totalidad (debe quedar un poco de solvente) el vaso que contiene el aceite se retiró de la parrilla y se colocaron en una estufa a 110 °C durante 14 horas para evaporar los residuos del solvente. Transcurrido este tiempo los vasos se colocaron en un desecador (para evitar que los vasos que contienen el aceite, absorban la humedad del ambiente), y se dejaron enfriar a temperatura ambiente y se pesaron. Esta determinación se hizo por duplicado.

El porcentaje de extracto crudo de la grasa se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$(\%) \text{ de Extracto etéreo} = \frac{PVE - PV}{PM} \times 100$$

PVE= Peso del vaso + aceite

PV= Peso del vaso vacío

PM= Peso de la muestra seca (maíz)

### **Determinación de proteína (Método de Microkjedahl)**

El método de Microkjedahl tiene el mismo fundamento que el Macrokjeldahl y sus ventajas son: usar menor cantidad de reactivos y de muestra. Se pesaron muestras de 300 mg de maíz seco y desengrasado de cada material genético y se colocaron en

tubos de ensayo para Nitrógeno. Se les añadió 0.5 g de la mezcla catalizadora (96 g Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + 3.5 g CuSO<sub>4</sub> + 0.5 g Selenio - finamente molido) y 3 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado en cada tubo. Se colocaron los tubos en el digestor a 300°C por aproximadamente 50 minutos dentro de la campana de extracción de vapores marca LABCONCO®, hasta que la solución tomó una coloración verde esmeralda. Posteriormente se les dejó enfriar manteniendo encendido el extractor de gases. Al enfriarse la solución contenida en los tubos se les agregó 25 mL de agua destilada para diluir el remanente. El contenido del tubo se transfirió al micro destilador marca LABCONCO®, lavándolo con poca agua destilada para recuperar toda la muestra. En el extremo del condensador se colocó un matraz Erlenmeyer de 50 mL de capacidad con 6 mL de solución de ácido bórico al 4 %, manteniendo siempre el condensador sumergido en la solución. Se adicionaron 10 mL de NaOH al 40 % para destilar hasta obtener 30 mL del destilado de cada muestra, se enjuagó el extremo del condensador con la mínima cantidad de agua y se retiró el matraz Erlenmeyer del destilador. Las muestras se titularon con una solución valorada de ácido clorhídrico (HCl) 0.1027 N y se registró la cantidad de mililitros gastados. El factor de ajuste para nitrógeno fue de 1.4 (0.014 miliequivalentes (mEq) x 100) para obtener el dato en porcentaje (AOAC, 1975). Esta prueba se realizó por duplicado.

El cálculo de la cantidad de nitrógeno total se hizo aplicando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(\text{ml gastados de HCl})(\text{Normalidad del HCl})(1.4)}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

El factor de conversión de nitrógeno a proteína utilizado en maíz es de 6.25 (A.O.A.C., 1975 y Galicia, 2009).

$$\% \text{Proteína Total} = \% \text{N} \times 6.25$$

%N= porcentaje de nitrógeno.

### **Determinación de cenizas**

Las cenizas se refieren a los residuos inorgánicos que permanecen después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica. Este método se refiere al uso de una mufla capaz de mantener temperaturas de 500 a 600 °C. El agua y los compuestos volátiles se evaporan y las sustancias orgánicas son incineradas en presencia de oxígeno y convertidas en CO<sub>2</sub> y óxidos de N<sub>2</sub>. Muchos minerales son convertidos a óxidos, sulfatos, fosfatos, cloruros y silicatos. Su principio se basa en una determinación en la que se obtiene la diferencia del peso inicial de la muestra menos el peso que se obtiene al final después de realizar un incinerado.

En esta determinación los crisoles de porcelana utilizados se llevaron a peso constante, para esto se colocaron en la estufa (marca Imperial V, Laboratory Oven) a 100 °C durante 14 horas, se les sacó y enfrió a temperatura ambiente en los desecadores. Se etiquetaron y pesaron los crisoles en la balanza analítica marca OHAUS® Adventurer (precisión 0.0001 g). Se colocó 1 g ( $\pm 0.001$ ) de muestra molida en cada crisol; se registró el peso nuevamente y se les colocó en la estufa a 110 °C por 24 horas; después de ese tiempo se sacaron y se enfriaron en los desecadores, a temperatura ambiente; se registró el peso del crisol con la muestra seca y se calculó el porcentaje de materia seca. Luego se colocaron en una mufla marca LINDBERG® a 550 °C durante 12 horas; se dejó enfriar la mufla y cuando marcó 100 °C se sacaron los



crisoles y depositaron en los desecadores, una vez fríos se registró el peso del crisol con las cenizas. Esta prueba se realizó por duplicado.

Para determinar la cantidad de cenizas presentes en la muestra se utilizó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(\text{Peso de crisol} + \text{muestra}) - (\text{Peso de crisol} + \text{cenizas})}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Las determinaciones de contenido de lisina y triptófano en grano entero, se hicieron en el Laboratorio de Calidad de Maíz, Campo experimental Valle de México, del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Estas pruebas se valoraron con la metodología descrita por Galicia *et al.* (2008). En las determinaciones de lisina y triptófano, se tomaron 6 g de semillas de cada tratamiento y se molieron en un molino marca Cyclotech® 1093; el número de malla utilizada fue de 0.5 mm. Los análisis de lisina y triptófano se realizaron en muestra seca y desengrasada. Las pruebas antes mencionadas se hicieron por duplicado.

### **Determinación de triptófano**

Se tomaron 30 mg de cada muestra molida de maíz previamente seca y desengrasada; se depositó cada muestra en tubos eppendorf, previamente identificados, se le adicionaron 1.125 mL de solución de papaína (1mg/mL). Se incluyeron dos blancos (solución de papaína), 4 controles (de contenido conocido de triptófano), y la curva estándar. La curva estándar es una solución concentrada de triptófano de 100 µg/mL en una solución de acetato de sodio 0.1 M pH 7.

Los tubos con las muestras, los blancos y los controles se cerraron asegurando que no hubiera evaporación durante la incubación. Se agitaron las muestras utilizando un vórtex y se colocaron en un horno a 64 °C durante 16 h. Una vez concluido el tiempo se sacaron los tubos del horno e inmediatamente se agitaron en el vórtex y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Nuevamente se agitaron los tubos en el vórtex antes de centrifugarlos a 3600 rpm durante 5 minutos. Se obtuvo el sobrenadante asegurándose que estuviera libre de partículas flotando en la muestra. Para la reacción colorimétrica se tomaron 50 µL del hidrolizado (sobrenadante) que se transfirió cuidadosamente a la microplaca de 96 pozos, se le agregó 150 µL del reactivo E (Ver anexo), se agitó la microplaca que contenía las muestras durante 5 segundos, y se incubó en una incubadora marca Heidolph unimax a 64 °C durante 30 minutos, para desarrollar la reacción y permitir la aparición del color. Transcurrido el tiempo se sacó la microplaca y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Una vez enfriada la placa se leyó la absorbancia a 560 nm en un espectrofotómetro marca Epoch Biotek.

La curva de calibración para triptófano se realizó utilizando cantidades conocidas de triptófano, en un rango de 0 a 30 µg/mL. Se graficaron las lecturas de absorbancia a 560 nm, en función de la concentración y se calculó la pendiente de la curva estándar.

El porcentaje de triptófano para cada muestra se estima usando la siguiente ecuación:

$$\% \text{ triptófano} = \frac{OD_{560 \text{ nm}}}{Pendiente} \times \frac{\text{volumen hidrolizado}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

$OD_{560 \text{ nm}}$  = Lectura de absorbancia en la muestra

*Pendiente* = Pendiente de la curva de regresión

## **Determinación de lisina**

Para el proceso de digestión, de cada muestra se pesaron 100 mg de muestra molida y desengrasada, se depositó cada muestra en un tubo falcón y se le agregó 5 ml de solución de papaína 4 mg/mL; los tubos se cerraron, asegurándose que no hubiera evaporaciones durante la incubación. Se incluyeron dos blancos (solución de papaína 4 mg/L) y 4 controles (de concentración conocida de lisina). Se agitaron los tubos vigorosamente usando un vórtex y se colocaron en un horno a 64°C durante 16 h para su incubación. Una vez transcurrido el tiempo se sacaron los tubos del horno y se agitaron utilizando un vórtex. Se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Los tubos se agitaron en un vórtex nuevamente y se centrifugaron a 2500 rpm durante 5 minutos. Se obtuvo el sobrenadante asegurándose que no tuviera partículas flotando en la muestra, cuando el sobrenadante presentó turbidez se centrifugó nuevamente.

Para la reacción colorimétrica, se transfirió 1 mL del sobrenadante a un tubo de centrífuga y se agregó 0.5 mL de la solución amortiguadora de carbonatos (6.36 g de  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  + 25.2 g de  $\text{NaHCO}_3$ ) y 0.5 mL de la suspensión de fosfato de cobre (2.8 de  $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  + 13.6 g  $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ), se agitó manualmente durante 5 min e inmediatamente se centrifugó a 2000 rpm durante 5 min. Se tomó 1 mL del sobrenadante y se pasó a un tubo nuevo. Se le agregó 0.1 mL del reactivo 2-cloro-3,5-dinitropiridina y se agitó nuevamente en un vórtex. Se mantuvieron los tubos a temperatura ambiente y protegidos de la luz durante 2 h agitándose cada 30 minutos. Una vez el tiempo transcurrido se adicionaron 5 mL de HCl 1.2 N en cada tubo y se agitaron en un vórtex. Se adicionaron 5 mL de acetato de etilo, se taparon y se invirtieron manualmente los tubos en 10 tiempos. Se retiró la fase superior con una pipeta. Esta operación se repitió dos veces más; una vez concluida esta operación, se

leyó cada una de las muestras a una absorbancia de 390 nm en un espectrofotómetro marca Beckman Coulter® DU 530.

La curva estándar se preparó con una solución concentrada de lisina a 2500 µg/mL en la solución amortiguadora de carbonatos. En tubos falcón se prepararon diluciones de 0, 250, 500, 750 y 1000 µg/ml (se diluyeron en solución amortiguadora de carbonatos 0.05 M, pH 9); antes de usar las soluciones se agitaron en un vórtex. En tubos falcon nuevos de 15 mL se prepararon las nuevas concentraciones de lisina a partir de la primera solución concentrada, se tomó 1 mL de cada tubo y se le adicionaron 4 mL de la solución de papaína a 5 mg/mL. Inmediatamente se efectuó la reacción colorimétrica (como se mencionó anteriormente), usando 1 mL de las disoluciones para hacer la curva estándar, con solución amortiguadora de carbonatos 0.05 M pH 9.0, con la mezcla de aminoácidos.

Cálculo del porcentaje de lisina:

$$\% \text{ Lisina} = \frac{OD_{390 \text{ nm}}}{Pendiente} \times \frac{\text{volumen hidrólisis}}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

$OD_{390 \text{ nm}}$  = Lectura de absorbancia en la muestra

*Pendiente* = Pendiente de la curva de regresión

$$Factor = \frac{0.005}{Pendiente}$$

Tener en cuenta que:

$$\frac{5 \text{ ml}}{100000 \mu\text{g}} \times 100 = 0.005$$

### **3.3.3. Análisis estadístico**

Con los datos obtenidos en laboratorio de los diferentes genotipos evaluados se realizó un análisis de varianza bajo un diseño experimental completamente al azar con dos repeticiones y se realizaron pruebas de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para los 35 genotipos y por grupos (poblaciones de tallos gemelos (1040G, 1041G y 1053G); compuestos balanceados (de tallos gemelos y no gemelos); líneas originales (1041Or y 1053Or); materiales mejorados (H-San José y H-San Marcos); materiales nativos: azules (Oaxaca-394 y Chalco-352) y blanco (Huexotla). Se hicieron contrastes ortogonales para encontrar diferencias entre grupos (gemelos de AFG y BFG) y se realizó un análisis de correlación simple entre las variables estudiadas. Estos análisis se hicieron utilizando el programa de cómputo Statistical Analysis System versión 9.0 (SAS Institute, 2002).

### 3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el análisis de varianza realizado en los diferentes genotipos evaluados (Cuadro 2), se encontraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las variables de proteína total (PT), lisina, triptófano y extracto etéreo (EE). Entre grupos de poblaciones de tallos gemelos y no gemelos, se encontraron diferencias altamente significativas para el porcentaje de triptófano y lisina, y significativas ( $p \leq 0.05$ ) para las variables de contenido de EE y PT (Cuadro 3). En lo que respecta a la variable de contenido de cenizas totales no se encontraron diferencias entre genotipos ni entre grupos.

**Cuadro 2.** Cuadrados medios y significancia para las características de grano de maíz de los 35 genotipos evaluados. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	PT	Lisina	Triptófano	Cenizas	EE
Genotipos	34	1.07**	0.002**	0.0002**	0.06 <sub>NS</sub>	1.08**
Error	35	0.11	0.00003	0.000004	0.04	0.01
CV (%)		2.8	1.8	2.5	12.2	4.0

\*, \*\*, NS= indican diferencias significativas, altamente significativa y No Significativa, respectivamente  $p=0.05$ ; FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad, PT=proteína total, EE= Extracto etéreo.

**Cuadro 3.** Cuadrados medios de las variables de características bioquímicas en grano de maíz de los diferentes grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México, 2011.

FV	GL	PT	Lisina	Triptófano	Cenizas	EE
Grupos	11	1.126*	0.0027**	0.00034**	0.07 <sub>NS</sub>	1.38*
Error	58	0.5	0.0007	0.00005	0.05	0.38
CV (%)		5.8	8.4	9.2	13.9	23.3

\*, \*\*, NS= indican diferencias significativas, altamente significativa y No Significativa, respectivamente  $p=0.05$ ; FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad, PT=proteína total, EE= Extracto etéreo.

### **3.4.1. Contenido de Proteína Total**

En las líneas que poseen el carácter de tallos gemelos el 7.7 % de ellas presentaron valores de 13.0 a 13.4 % de PT; estas líneas: 2453 (AFG) y 2455 (BFG) pertenecen al grupo 1040G; el 57.7 % tuvieron valores de 12.0 a 12.9 % y el 34.6 % restante de líneas mostraron cantidades de PT de 10.3 a 11.9 % (Cuadro 4).

El contenido de proteína en los grupos de líneas de tallos gemelos presentó un intervalo de 10.3 a 13.3 %, que son valores superiores a los registrados (8.5 a 11.0 %) por González *et al.* (2011), en poblaciones poliembriónicas; a los registrados (9.8 a 11 %) por Ortega *et al.* (1986), en maíces normales y a los reportados (9.1 a 11.5 %) por Vázquez *et al.* (2012) en maíces de alto contenido proteico (AC). Este incremento de proteína es importante en los grupos gemelos ya que por lo general los aumentos en el porcentaje de proteínas de los granos se asocian con una alta calidad de los mismos.

Se encontraron diferencias en la comparación de medias por grupos; en los testigos la línea original 1053Or fue la de mayor contenido de proteína (12.9 %). Esta línea presentó 10 % más que el grupo 1053G, 7.2 % más que los grupos de tallos gemelos, 5.9 % más que los compuestos balanceados, 9.5 % más que los grupos de poblaciones nativas (azul y blanco) y 15.9 % más que los materiales mejorados (Cuadro 5). El contenido de proteína total en grano entero de los 35 genotipos evaluados, la media se ubicó en 12.02 %.

### **3.4.2. Contenido de Lisina**

En lo que respecta a la variable, contenido de lisina en grano entero, el 50 % de las líneas de tallos gemelos presentaron un contenido de 0.30 a 0.37 % en muestra. Las

líneas que mayor porcentaje de lisina presentaron fueron la 2453 (0.38 %) y 2460 (0.37 %), ambas pertenecen al grupo 1040G y son de alta frecuencia de tallos gemelos. El 50 % restante de líneas mostraron un intervalo de 0.24 a 0.29 % (Cuadro 4).

Al hacer la comparación de medias entre grupos, el compuesto balanceado de no gemelos fue el de mayor valor (0.34 %) mostró 10.7 % mayor contenido que los grupos de tallos gemelos y que el compuesto balanceado de gemelos. El menor contenido de lisina fue el registrado por el material mejorado H-San José (0.25 %) (Cuadro 5). La media de los 35 genotipos evaluados se ubicó en 0.31 %. En los grupos de tallos gemelos el promedio fue de 0.30 % este promedio fue igual al de los materiales que no poseen el carácter de tallos gemelos.

Con respecto a los testigo, los compuestos balanceados mostraron en promedio 0.31 %, las líneas originales 0.31 %; los mejorados 0.27 %; las poblaciones nativas azules 0.31 % y el blanco (Huexotla) 0.28 %.

### **3.4.3. Contenido de Triptófano**

En contenido de triptófano, las líneas que poseen el carácter de tallos gemelos registraron valores de 0.056 a 0.085 %. El 19 % de ellas presentaron un rango de 0.081 a 0.085 %, estas líneas son: 2447 (AFG), 2461 (BFG) del grupo 1040G; 2467, 2468 del 1041G (BFG) y 2470 (AFG) del 1053G. El 42 % (11 líneas) se ubicó en el rango de 0.070 a 0.078 %, el 31 % (ocho líneas) presentó valores de 0.061 a 0.069 % y el restante 8 % de líneas (la 2455 del grupo 1040G y la 2471 del 1053G) mostró valores de 0.056 a 0.059 % (Cuadro 4).

Se encontraron diferencias en la comparación de medias entre los diferentes grupos evaluados. La línea original 1053Or registró 27 % mayor contenido de triptófano que el



grupo 1053G, 26 % más que las líneas de tallos gemelos y 16 % más que los compuestos balanceados (Cuadro 5).

La línea original 1053Or y la población local (Huexotla) presentó valores más altos: 0.096 y 0.097 % respectivamente. El valor promedio de los 35 genotipos estudiados fue de 0.075 %. Los materiales testigos mostraron valores superiores (0.079 a 0.097 %) a los grupos gemelos (0.071 a 0.074 %).

Las líneas de tallos gemelos presentaron en promedio 0.072 % en contenido de triptófano. Galicia *et al.* (2008) mencionan que en general, una muestra con más del 0.070 % de Triptófano en grano entero es considerada como QPM.

Para considerar la proteína de calidad en maíz, debe existir una relación de 1 a 4 entre el triptófano y la lisina en la proteína del endospermo del maíz, de manera que el triptófano se puede usar como parámetro único para evaluar la calidad de maíz (Villegas, 1981).

Al hacer la relación entre triptófano y lisina en la proteína del endospermo del maíz en las líneas gemelas, se encuentra que es de 1 a 4. Esto indica que existe proteína de calidad en las líneas que poseen el carácter tallos gemelos (Cuadro 5).

Es importante mencionar que dentro de este mismo trabajo (Capítulo 5) se encontró que el porcentaje de biomasa de los embriones procedentes de granos de plantas de maíz con tallos gemelos es de 7.9 a 9.5 %. Estos valores son menores a lo registrado en otros estudios que es de 12 %. Esto es fundamental pues biológicamente, el embrión contiene la mayor cantidad de grasas del grano, azúcares, cenizas y tiene más valor nutritivo en proteínas debido a que contiene una mayor proporción de triptófano y lisina que el resto del grano, esto se debe a que están constituidas en su mayoría por

albuminas, globulinas y gluteínas (Pomeranz, 1987; Paliway *et al.*, 2001; Rooney *et al.*, 2004).

Es interesante destacar que las líneas de tallos gemelos al tener una menor proporción de tejido embrionario comparado con maíces normales, el mayor aporte de lisina y triptófano lo está haciendo el endospermo y no el embrión. Por lo tanto, sería interesante evaluar únicamente las características químicas del endospermo en estas líneas.

#### **3.4.4. Contenido de Extracto etéreo**

En cuanto a la variable de extracto etéreo las líneas de tallos gemelos mostraron en promedio 2.4 % de contenido de aceite. El 4 % de líneas de tallos gemelos (una línea la 2451 (AFG) del grupo 1041G) presentaron un valor de 4.3 %. El 23 % se ubicó en un intervalo de 3.0 a 3.9 %, estas líneas son: 2448, 2452, 2458, 2460; 2461 del grupo 1040G y la 2467 del 1041G. El 50 % osciló entre los valores de 2.0 a 2.9 % y el 23 % restante (seis líneas) presentaron valores de 1.5 a 1.8 % de contenido de aceite (Cuadro 4).

Se registraron diferencias en los grupos de tallos gemelos, el 1040G presentó mayor contenido de aceite; fue 15 y 21 % superior a los grupos 1053G y 1041G respectivamente.

De los testigos la línea original 1053Or registró el porcentaje más alto (4.3 %). Al compararla con los grupos gemelos y compuestos balanceados, mostró 43.8 y 38.5 % más de EE respectivamente. El material con menor contenido de aceite (2.3 %) fue la población local (Huexotla) (Cuadro 4).

Sin embargo, es notable resaltar que a pesar que estos materiales poseen un embrión pequeño (7.9 a 9.5 %), el 27 % de estas líneas, sus contenidos de aceites fueron aceptables (3.0 a 4.3 %). Esto sugiere a seguir trabajando con estos materiales y buscar germoplasma que permita aumentar la biomasa del embrión de las líneas que poseen el carácter de tallos gemelos. Pues al lograr aumentar la biomasa del embrión se tendría un mayor contenido de aceite, proteínas y por consiguiente una mejor calidad de grano.

#### **3.4.5. Contenido de cenizas**

En cuanto al contenido de cenizas no se presentaron diferencias en la prueba de medias en los diferentes genotipos y grupos evaluados (Cuadros 4 y 5).

**Cuadro 4.** Valores medios en porcentaje de proteína total, lisina, triptófano, extracto etéreo y cenizas del grano entero de 35 genotipos. Montecillo, Estado de México, 2011.

Grupo	Línea	Frecuencia	Frecuencia	Proteína Total	Lisina	Triptófano	Extracto etéreo	Cenizas
		T Gemelos (%)						
1040G	2446	58.6	AFG	11.792 i	0.341 d	0.075 j	2.00 q	1.740 a
1040G	2447	65.5	AFG	12.826 c	0.282 r	0.082 e	1.54 t	1.317 a
1040G	2448	33.1	BFG	12.901 c	0.337 e	0.075 j	3.08 d	1.688 a
1040G	2449	68.3	AFG	12.732 d	0.337 e	0.074 k	2.41 m	1.512 a
1040G	2450	57.5	AFG	12.371 f	0.315 j	0.072 l	2.12 p	1.675 a
1040G	2451	50.4	AFG	11.044 n	0.284 r	0.061 r	4.30 a	1.656 a
1040G	2452	22.5	BFG	12.379 f	0.347 c	0.078 h	3.06 e	1.486 a
1040G	2453	60.6	AFG	13.013 b	0.375 a	0.071 m	2.64 j	1.929 a
1040G	2454	39.9	AFG	12.411 f	0.298 o	0.073 l	2.32 n	1.505 a
1040G	2455	45.0	BFG	13.382 a	0.292 p	0.059 s	1.83 r	1.296 a
1040G	2456	26.7	BFG	12.424 f	0.294 o	0.065 q	2.87 g	1.354 a
1040G	2457	45.0	BFG	12.113 h	0.297 o	0.076 i	2.47 l	1.462 a
1040G	2458	21.6	BFG	11.057 n	0.282 r	0.065 q	3.39 b	1.534 a
1040G	2459	34.2	BFG	11.368 l	0.312 l	0.069 o	2.57 k	1.519 a
1040G	2460	60.7	AFG	11.700 j	0.374 a	0.069 n	3.41 b	1.440 a
1040G	2461	12.8	BFG	12.012 h	0.333 g	0.081 f	3.89 a	1.787 a
1041G	2463	52.8	AFG	10.928 o	0.291 q	0.066 q	2.23 o	1.323 a
1041G	2464	54.9	AFG	12.391 f	0.291 q	0.070 n	1.84 r	1.821 a
1041G	2465	65.4	AFG	12.861 c	0.312 l	0.068 p	1.73 s	1.811 a
1041G	2466	64.8	AFG	12.782 c	0.281 r	0.074 k	1.56 t	1.863 a
1041G	2467	36.5	BFG	12.212 g	0.314 k	0.082 e	3.19 c	1.624 a
1041G	2468	43.5	BFG	12.084 h	0.295 o	0.085 d	2.38 m	1.675 a
1053G	2470	48.9	AFG	12.452 e	0.316 i	0.084 d	1.83 r	1.834 a
1053G	2471	42.9	BFG	10.323 q	0.279 s	0.056 t	2.05 p	1.543 a
1053G	2472	42.1	BFG	11.574 k	0.242 u	0.069 o	2.80 h	1.424 a
1053G	2473	70.2	AFG	11.945 i	0.303 m	0.071 m	2.62 k	1.633 a
CBalanceado	CBGEM*	41.5	AFG	12.213 g	0.293 o	0.078 h	2.62 k	1.625 a
CBalanceado	CBNOGEM*	22.1	BFG	12.135 h	0.336 f	0.084 d	2.67 i	1.546 a
Loriginal	1041 Or *	0	-	11.637 j	0.299 n	0.091 b	2.39 m	1.277 a
Loriginal	1053 Or *	0	-	12.927 c	0.321 h	0.096 a	4.29 a	1.605 a
Híbrido	H-San José *	0	-	10.775 p	0.252 u	0.081 f	3.00 f	1.254 a
Híbrido	H-San Marcos*	0	-	11.042 n	0.283 r	0.079 g	3.15 c	1.569 a
Nativo Blanco	Huexotla *	0	-	11.721 i	0.282 r	0.097 a	2.27 o	1.540 a
Nativo Azul	Chalco-352 *	0	-	11.103 m	0.262 t	0.086 c	2.24 o	1.810 a
Nativo Azul	Oaxaca-394 *	0	-	12.312 g	0.362 b	0.087 c	4.10 a	1.735 a
Tuxpeño	Normal €			9.8	0.25	0.055	-	-
Tuxpeño	QPM €			9.8	0.41	0.099	-	-
	DSM			1.4	0.02	0.008	0.44	0.8

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). (%) en muestra. Los compuestos balanceados de tallos gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de líneas de mayor y menor frecuencia de tallos gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinados. € Ortega *et al.* (1986). DMS = Diferencia mínima significativa ( $P \leq 0.05$ ). Una línea de alta frecuencia (AFG) es aquella que tenía más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) es la que tenía plantas con tallos gemelos en frecuencia menor a 45.5 %. \* Materiales testigos.

**Cuadro 5.** Valores medios para las características bioquímicas en grano entero de los diferentes grupos de poblaciones. Montecillo, Estado de México, 2011.

Grupos		No. Líneas	Proteína total (%)	Lisina (%)	Triptófano (%)	Relación Lisina / Triptófano	Extracto etéreo (%)	Cenizas (%)
Grupos de tallos gemelos								
	1040G	16	12.2 b	0.32 c	0.071 d	4.5	2.7 c	1.6 a
	1041G	6	12.2 b	0.30 c	0.074 d	4.0	2.2 e	1.7 a
	1053G	4	11.6 b	0.28 c	0.070 d	4.1	2.3 d	1.6 a
Líneas originales								
	1041Or	1	11.6 b	0.30 c	0.091 c	3.3	2.4 d	1.3 a
	1053Or	1	12.9 a	0.32 c	0.096 b	3.4	4.3 a	1.6 a
Compuesto Balanceado								
	CB Gemelo	1	12.2 b	0.29 c	0.078 c	3.8	2.6 c	1.6 a
	CB No Gemelo	1	12.1 b	0.34 b	0.084 c	4.0	2.7 c	1.5 a
Nativos								
Azul	Chalco-352	1	11.1 b	0.26 d	0.086 c	3.0	2.2 d	1.8 a
Azul	Oaxaca-394	1	12.3 b	0.36 a	0.087 c	4.2	4.1 b	1.7 a
Blanco	Huexotla	1	11.7 b	0.28 d	0.097 a	2.9	2.3 d	1.5 a
Mejorados								
	H-San José	1	10.8 c	0.25 e	0.081 c	3.1	3.0 c	1.3 a
	H-San Marcos	1	11.0 b	0.28 d	0.079 c	3.6	3.1 c	1.6 a
Tuxpeño	Endospermo Normal €		9.8	0.25	0.055	4.5	-	-
Tuxpeño	QPM €		9.8	0.41	0.099	4.1	-	-
	DMS		2.1	0.08	0.02		1.9	0.7

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). (%) en muestra. \*Los compuestos balanceados de gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de líneas de mayor y menor frecuencia de gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinados. € Ortega et al. (1986). DMS = Diferencia mínima significativa ( $P \leq 0.05$ ).

### 3.4.6. Comparación de líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos

Mediante contrastes ortogonales dentro de los grupos de tallos gemelos (1040G, 1041G y 1053G) se compararon las líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos. En el grupo 1041G, se encontraron diferencias significativas en las variables de contenido de triptófano y extracto etéreo, siendo las líneas de BFG las que presentaron valores mayores. En el 1053G, presentó diferencias significativas en las variables de proteína

total y lisina, las líneas de AFG fueron las que presentaron valores superiores. En el grupo 1040G no se presentaron contrastes en las diferentes variables evaluadas al comparar las líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Promedios, estimaciones y significancia en las variables bioquímicas, en líneas de alta contra baja frecuencia de tallos gemelos en los grupos: 1040G, 1041G y 1053G. Montecillo, Estado de México, 2011.

Líneas de Alta Vs baja Frecuencia de gemelos	No. Líneas	Proteína Total (%)	Lisina (%)	Triptófano (%)	Extracto Etéreo (%)	Cenizas (%)	
1040 AFG	Vs	8	12.31	0.319	0.073	2.5	1.6
1040 BFG		8	12.16	0.319	0.070	2.9	1.5
Estimación			0.030	0.014	-0.001	-0.3	0.1
Significancia			NS	NS	NS	NS	NS
1041 AFG	Vs	4	12.24	0.293	0.069	1.8	1.7
1041 BFG		2	12.15	0.304	0.084	2.8	1.6
Estimación			0.09	-0.011	-0.014	-0.943	0.1
Significancia			NS	NS	*	*	NS
1053 AFG	Vs	2	12.20	0.309	0.078	2.2	1.7
1053 BFG		2	10.90	0.261	0.062	2.4	1.5
Estimación			1.25	0.05	0.015	-0.2	0.12
Significancia			*	*	NS	NS	NS

(%) en muestra. AFG=Selección por alta frecuencia con plantas de tallos gemelos (> 46 %); BFG= Selección por baja frecuencia de plantas con tallos gemelos (< 45.5).

Al comparar las líneas de alta frecuencia de tallos gemelos con poblaciones normales, que no tienen el carácter tallos gemelos, se encontraron diferencias significativas en las variables de contenido de proteína total, triptófano y extracto etéreo (Cuadro 7). Las líneas de alta frecuencia de tallos gemelos fueron superiores en contenido de proteína total y las poblaciones normales superaron a las líneas de AFG en las variables de

contenido de triptófano y extracto etéreo. En las variables de contenido de lisina y cenizas no hubo diferencias entre líneas de AFG y las poblaciones normales.

**Cuadro 7.** Promedios, estimaciones y significancia en las variables bioquímicas, en líneas de alta frecuencia de tallos gemelos contra poblaciones normales. Montecillo, Estado de México, 2011.

Líneas de AFG Vs Poblaciones normales	No. Líneas	Proteína Total (%)	Lisina (%)	Triptófano (%)	Extracto Etéreo (%)	Cenizas (%)
Líneas de AFG	14	12.2	0.30	0.074	2.3	1.7
Poblaciones Normales	7	11.70	0.29	0.089	3.0	1.5
Estimación		0.580	0.018	-0.015	-0.07	0.1
Significancia		*	NS	**	*	NS

AFG = selección de líneas de alta frecuencia con plantas de tallos gemelos (>46 %). Poblaciones normales: son aquellas que no tienen el carácter de tallos gemelos.

Los coeficientes de correlación de Pearson entre las diferentes variables bioquímicas, señala que las características evaluadas, no estuvieron correlacionadas (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Coeficientes de correlación de Pearson en las características bioquímicas de grano entero de maíz. Montecillo, Estado de México, 2011.

Variable	Lisina	Triptófano	Cenizas	PT	EE
Lisina	1.00	0.09	0.26	0.41	0.27
Triptófano	0.09	1.00	0.09	0.15	0.15
Cenizas	0.26	0.09	1.00	0.26	0.00
PT	0.41	0.15	0.26	1.00	-0.17
EE	0.27	0.15	0.00	-0.17	1.00

PT=proteína total, EE= Extracto etéreo.

En este trabajo a pesar de las condiciones climáticas adversas que prevalecieron durante el desarrollo del cultivo, los materiales de tallos gemelos presentaron proteína de calidad en el grano. Esto nos lleva a sugerir que estos materiales deben ser evaluados en diferentes ambientes para obtener una estimación del efecto ambiental y genotípico en la calidad del grano.

De las 26 líneas que poseen el carácter tallos gemelos la línea 2448 del grupo 1040G sobresale en contenido de lisina, triptófano, proteína total y aceite. La 2449, 2450 y 2453 del grupo 1040G destacan en contenido de lisina, triptófano y proteína total. Las líneas 2467 (1041G) y 2470 (1053G) presentan altos contenidos de lisina y triptófano. En contenido de aceite sobresalen las líneas 2451, 2460 y 2461 del grupo 1040G.

Los compuestos balanceados (CBG y CBNG), los valores que registraron en las cinco variables evaluadas fueron superiores a los registrados por los grupos de tallos gemelos (1040G, 1041G y 1053G). Sin embargo, en la relación lisina/triptófano presentaron un valor de 3.9 y los grupos de tallos gemelos 4.2; es decir que los grupos de tallos gemelos presentan una buena calidad de grano.

Es importante continuar con la selección de estos materiales, para poder cambiar la composición de las estructuras del grano y con ello buscar mejorar la calidad de la proteína del grano en maíz.

### **3.5. CONCLUSIONES**

Con base al objetivo e hipótesis propuestos y con base a los resultados obtenidos se concluye:

Las 26 líneas de maíz que poseen el carácter tallos gemelos tienen calidad nutracéutico en sus semillas. Los grupos de tallos gemelos en promedio superaron a los testigos en



la variable de proteína total. En contenido de triptófano y extracto etéreo los testigos superaron a las líneas de tallos gemelos y en las variables de contenido de lisina y cenizas, las líneas de tallos gemelos y los testigos registraron promedios iguales.

Sin embargo, al hacer la relación lisina/triptófano las líneas de tallos gemelos presentaron la relación 4.2, esto significa que las líneas de tallos gemelos tienen calidad de grano.

Los compuestos balanceados en todas las variables registraron valores superiores en comparación con las líneas de tallos gemelos.

Al comparar líneas de alta y baja frecuencia de tallos gemelos dentro de cada grupo, el grupo 1040G, no presentó diferencias en las variables estudiadas. Dentro del grupo 1041G las líneas de baja frecuencia de tallos gemelos mostraron valores superiores en las variables: Contenido de triptófano y extracto etéreo. En el grupo 1053G las líneas de alta frecuencia de tallos gemelos fueron superiores en las variables de contenido de proteína total y lisina.

Al hacer la comparación entre las líneas de alta frecuencia de tallos gemelos y las poblaciones normales se encontraron diferencias, en las variables de contenido de proteína total, triptófano y extracto etéreo. Siendo las líneas de alta frecuencia de tallos gemelos las que presentaron el valor mayor en la variable de proteína total y las poblaciones normales fueron superiores en contenido de triptófano y extracto etéreo.

De las 26 líneas que tienen el carácter tallos gemelos, se identificaron líneas que poseen características bioquímicas (proteína total, lisina, triptófano y extracto etéreo) sobresalientes y son: 2449, 2450, 2451, 2453, 2460 y 2461 (del grupo 1040G); 2467 (1041G) y 2470 (1053G).

### 3.6. LITERATURA CITADA

**Bressani, R. 1981.** Mejoramiento de las Dietas a base de maíz enriquecido con aminoácidos y proteínas suplementarios. *In* Maíz de Alta Calidad Proteínica.

**Bauman, L.F., E. T. Mertz, A. Carballo y E.W. Sprague.** (eds.). (1977). Cimmyt-Purdue. Limusa. México. pp: 41-56.

**Bressani, R. 1994.** Opaque 2 Corns in Human Nutrition and Utilization. *In*: Quality Protein Maize: 1964 -1994. Larkins B. A and E. T. Mertz (eds.). EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas MG, Brazil. pp. 41-63.

**Cruz, H. y Jeglay, Y. 2006.** Relación suelo-planta- hombre en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Facultad de Agronomía. Postgrado en ciencia del suelo. Maracay. Universidad Central de Venezuela. [En Línea]. Disponible en: <ftpctic.agr.ucv.ve/intranet/postgrado/suelo/maiz.doc>. (revisado el 13 de mayo 211).

**Esau, K. 1985.** Anatomía vegetal. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 568 p.

**Galicia L, E. Nurit, A. Rosales and N. Palacios-Rojas. 2009:** Maize nutrition quality and plant tissue analysis laboratory. Laboratory protocols. CIMMYT. México, D.F. 42 p.

**González, A. U. 1995.** El Maíz y su conservación. Trillas. México. 399 p.

**Gupta, H. S., P. K. Agrawal, V. Mahajan, G. S. Bisht, A. Kumar, P. Verma, A. Srivastava, S. Shana, R. Babu, M. C. Pant, and V. P. Mani. 2009.** Quality protein maize for nutritional security: rapid development of short duration hybrids through molecular marker assisted breeding. *In* Current Science, 96 (2):230-237.

**Hallauer, A. R. 2001.** Specialty Corns. CRC Press..USA. 496 p.

**Kiesselbach, T. A. 1980.** The Structure and Reproduction of Corn. University of Nebraska Press. E.U.A. 96 p.

**Johnson, L. A. 2000.** Corn: The major cereal of the Americas. Chapter 2. *In*: Handbook of Cereal Science and Technology. 2nd. ed. Kulp, K. and J. G. Ponte Jr, (eds.). Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp: 31-78.

**Jugenheimer, R. W. 1990.** Maíz: Variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas. Limusa. México. 841 p.

**Méndez, A. y E. Moreno. 2007.** Aflatoxinas en las tortillas de maíz. CONACYT (Consejo Nacional de la Ciencia y Tecnología). México [En línea]. Disponible en <http://www.conacyt.mx/Comunicacion/Revista/210/Articulos/Aflatoxinas/Aflatoxinas00.htm>. (revisado el 18 de marzo de 2013).

**Morris, M. L. y M. A. López P. 2000.** Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina 1996-1997. CIMMYT. México D.F. 45 p.

**Nielsen, S. 2003.** Food Analysis Laboratory Manual; Kluwer Academic/Plenum Publishers, Nueva York.

**Nordstrom, J.W., B. R. Behrends, R. J. Meade and E. H. Thomposon. 1972.** Effects of feeding high oil corns to growing finishing swine, *J. An Sci.* 35(2): 357-361.

**Ortega, E. I., E. Villegas and S. K. Vasal. 1986.** A Comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem.* 63(5):444-451.

**Paliwal, L. R, G. Granados, H. R. Lafitte y A. D. Violic. 2001.** El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (FAO) Roma, Italia. 390 p.

**Pérez, L. H., 2006.** Nutracéuticos: componente emergente para el beneficio de la salud CIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar XL: 3. pp: 20-28 [En línea]. Disponible en: <<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120665003>> ISSN 0138-6204. (revisado: 02 de Enero 2014).

**Pomeranz, Y. 1987.** Modern Cereal Science and Technology. VCH. USA. pp: 468

**Prasanna, B. M., S. K. Vasal, B. Kassahum and N. N. Sing. 2001.** Quality protein maize. *In*: Current Science, 81(10): 1308-1319.

**Reyes, C. P. 1990.** El maíz y su cultivo. AGT Editor. México. 460 p.

**Robledo, T. 2009.** Debe México defender su maíz ante el extranjero. Universidad Autónoma de México. [En línea]. Disponible en <http://www.cuautitlan.unam.mx/descargas/edudis/boletines/2009/DED-2009-14.pdf>. (revisado el 25 de marzo de 2013).

**Rodríguez, H. S. y M. Castro G. 1978.** Estudio sobre herencia de semillas con doble embrión. Avances de Investigación 1978. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”. Buenavista, Saltillo Coahuila, México. pp: 19.

**Rooney, L. W., C. M. McDonough and R. D. Waniska. 2004.** The Corn Kernel. Chapter 2.2. *In* Corn: Origin, history, technology and production. C. Wayne S. J. Bertrán. (eds.). E.C.A. Runge Wiley Series in Crop Science. Texas A & U, University U.S.A. pp: 273-304.

**Serna-Saldivar S. O., J. A. Gutierrez, S. Mora R, S. García L. 2013.** Potencial nutraceútico de los maíces criollos y cambios durante el procesamiento tradicional y con extrusión. Rev. Fitotec. Mex. 36 (3-A): 295 – 304.

**Vázquez, G. V. M., J. Espinoza V., R. Mendoza V., H De León C. y M. A. Torres T. 2011.** Caracterización de germoplasma de maíz que combina un alto contenido de aceite y poliembrionía. Universidad y Ciencia Trópico Húmedo. 27(2):157-167.

**Villegas, E. 1981.** El Sistema Integral para la selección química del maíz de alta calidad proteica. *In: Maíz de Alta Calidad Proteínica.* Bauman, L.F., E. T. Mertz, A. Carballo, E.W. Sprague. (eds.). CIMMYT- Purdue. Limusa. México. pp: 357-365.

**Vivek, B.S., A.F. Krivanek, N. Palacios-Rojas, S. Twumasi-Afriyie y A.O. Diallo. 2008.** Mejoramiento de maíz con calidad de proteína (QPM): Protocolos para generar variedades QPM. México, D.F.: CIMMYT. 66 p.

**Weber, E. J. and P. J. White. 2003.** Lipids of the kernel. Chapter 10. *In: Corn: Chemistry and technology.* White, P. J. and Johnson, L. A. (eds.). By American Association of Cereal Chemists. Inc. St Paul Minnesota, USA. pp: 355 - 405.

**White, P. J. and L. A. Johnson. 2003.** Corn: Chemistry and Technology. American Association of Cereal Chemistry. St. Paul, Minnesota, USA. 892 p.

**Zuber, M. S. and L. L. Darrah. 1987.** Breeding, Genetics, and seed corn production. Chapter 2. *In: Corn: Chemistry and Technology.* Watson, S. A. and P. E. Ramstad. (eds.). By The American Association of Cereal Chemists, Inc. USA. pp: 31-57.

### 3.7. ANEXOS

Reactivo	Reactivos específicos	Preparación	Recomendaciones específicas
Reactivo A: Ácido sulfúrico 30 N	Ácido sulfúrico (grado analítico)	Colocar una botella en hielo. Mezclar al mismo tiempo, 833.3 mL de ácido sulfúrico (96 %) y 166.7 mL de agua desionizada para preparar una solución de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 30N completar el volumen con agua desionizada.	
Reactivo B: Ácido sulfúrico 7 N	Ácido sulfúrico (grado analítico)	Colocar una botella en hielo. Mezclar al mismo tiempo, 35 mL de ácido sulfúrico 30 N y 115 mL de agua desionizada para preparar 150 mL una solución de H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 7N completar el volumen con agua desionizada.	
Reactivo D: Cloruro férrico 1.8 mM		Disolver 0.050 g de FeCl <sub>3</sub> 6H <sub>2</sub> O en 100 mL del reactivo C.	Preparar diariamente. Asegurar que todo se disuelva. Tener en cuenta que FeCl <sub>3</sub> es altamente higroscópico.
Reactivo E: Reactivo colorimétrico		Una hora antes de ser usado, realizar la mezcla 1:1 del reactivo B y de los reactivos A y D.	

Galicia *et al.*, 2009.

**CAPÍTULO IV**  
**VALORACIÓN DE EMBRIONES DE LÍNEAS DE MAÍZ CON**  
**EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS**

**4.1 RESUMEN**

El objetivo del presente estudio fue identificar las características morfológicas de los tipos de embriones de semillas de líneas de maíz con el carácter tallos gemelos y determinar los porcentajes de biomasa de los componentes estructurales de las semillas de estas líneas y compararlos con genotipos que no poseen el carácter tallos gemelos. Se utilizó semilla de 26 líneas S<sub>5</sub> de maíz que poseen el carácter tallos gemelos (TG) formadas en el Programa de Maíz del Área de Fisiotecnia Vegetal del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. Esta semilla se obtuvo a partir de aumentos con polinizaciones fraternales en el ciclo agrícola 2011. Para el estudio se disecaron 50 semillas de cada línea, con ocho horas de remojo para facilitar la separación de sus estructuras (pericarpio, endospermo y embrión), al tejido embrionario se le realizó un análisis visual detallado buscando la presencia de embriones gemelos. Se obtuvieron fotografías de los embriones para clasificarlos y describirlos con base en su morfología. Cada una de las estructuras se sometió a secado en estufa; se registró el peso seco y la biomasa se expresó en porcentaje. Para la determinación de las estructuras del grano, estas variables se analizaron conforme a un diseño experimental completamente al azar. Los valores obtenidos en porcentajes fueron transformados mediante la función arco seno. Se hicieron pruebas de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos. En las líneas con tallos gemelos se identificaron nueve tipos de expresiones morfológicas de los embriones, siendo el tipo II el que se manifestó en mayor porcentaje. Al comparar la proporción de biomasa contenida en el embrión de las semillas, se encontró que las líneas originales tuvieron mayor contenido de embrión en su semilla, éste fue 3.9 % más grande que los embriones gemelos y 2.8 % más que los embriones normales provenientes de semillas de líneas con tallos gemelos.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., embrión bifurcado, embriones gemelos, escutelo.

## 4.2. INTRODUCCIÓN

La semilla o cariósida del maíz, es producto de la fertilización del óvulo y se compone de: el pericarpio que se deriva del ovario; la testa que es originada de uno o más integumentos del óvulo; el endospermo ( $3n$ ) que es el resultado de la fusión de un núcleo generativo masculino y los dos núcleos polares, y el embrión ( $2n$ ) que se forma de la fusión de la ovocélula con un núcleo espermático (Esau, 1985).

En las gramíneas el embrión se localiza en la base del grano donde va adherido al olote (Cruz y Jeglay, 2006); su tamaño es pequeño respecto al endospermo. Un embrión está constituido por el eje embrionario y el escutelo (que es una estructura larga y vascularizada). El nudo escutelar marca dos regiones en el eje embrionario; la superior o epicótilo, rodeada por el coleótilo que recubre a la plúmula y la inferior o hipocótilo, bajo el nudo escutelar se encuentra la radícula con una caliptra envainada en una estructura llamada coleorriza. Ambos ápices meristemáticos se encuentran en los extremos del eje embrionario unidos por el mesocótilo, donde se inserta el escutelo o cotiledón (Flores, 1999).

El cotiledón o escutelo, es el depósito nutritivo de alto contenido de aceite (5 a 6 %) y sustancias que son esenciales en las primeras etapas de crecimiento de la planta de maíz (Bartolini, 1984). El escutelo es el órgano de absorción y almacenaje del alimento del embrión. Consiste de cuatro tejidos: 1) epitelio, 2) parénquima, 3) epidermis y 4) tejido provascular. El parénquima se compone de células uninucleadas, con citoplasma denso y algunos gránulos de almidón y aceite líquido, esto constituye 83 % de los lípidos totales de la semilla. El escutelo contribuye con 10.6 % de la semilla (cerca de 90 % del embrión) y contiene 18.6 % de proteína y aproximadamente 10 % de los azúcares y minerales de la semilla (White y Johnson, 2003).



El endospermo constituye cerca de 80 % de la semilla, contiene almidón y proteínas. La capa externa del endospermo es la capa de aleurona y contiene lípidos, reservas proteínicas y enzimas esenciales para el inicio de la germinación; la aleurona circunda al endospermo y al embrión (Reyes, 1990).

El endospermo tiene un gran número de células, en las cuales los gránulos de almidón están empaquetados en matrices de proteína circundante. Está compuesto por regiones harinosas (endospermo de tipo harinoso o blando) las cuales se deben a la mayor proporción de almidón compuesto de amilasa, y regiones cristalinas (endospermo de tipo cristalino o duro) en las cuales la mayor proporción de almidón la constituye la amilopectina (Flores, 1999).

Después de la fertilización, con el desarrollo del endospermo, la pared del ovario inicia su transformación en tejido del pericarpio, el cual está compuesto por una cubierta lisa y densa formada por varias capas de células; su función es impartir propiedades semipermeables a la semilla de maíz (Reyes, 1990). Por debajo del pericarpio se encuentra la capa de aleurona que le da el color al grano (blanco, amarillo, rojo, morado) y contiene proteínas (Cruz y Jeglay, 2006)

#### **4.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar las características morfológicas de los tipos de embriones de semillas de líneas de maíz con el carácter tallos gemelos y determinar los porcentajes de biomasa de los componentes estructurales del grano de estas líneas y compararlos con las características de los materiales genéticos que no tienen este carácter.

#### **4.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Estudiar las características morfológicas de los tipos de expresión de los embriones de semillas de maíz obtenidas a partir de plantas de líneas S<sub>5</sub> que poseen el carácter tallos gemelos.

Cuantificar y describir los tipos de expresión identificados en las mismas líneas y el porcentaje en el que se manifiestan.

Determinar los porcentajes de biomasa de los componentes estructurales de las semillas: pericarpio, endospermo y embrión.

#### **4.2.3. HIPÓTESIS**

Existen diferentes formas de expresión de los embriones de las semillas de maíz de líneas con el carácter tallos gemelos.

Las semillas de líneas de tallos gemelos han modificado sustantivamente las proporciones de biomasa en sus estructuras constituyentes, por lo que sus embriones acumulan más biomasa que los de semillas de genotipos no gemelos.

### **4.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

Esta etapa se realizó en el laboratorio de Calidad de Semillas, ubicado en el Programa de Semillas del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados, Texcoco, Estado de México.

#### **4.3.1. Material genético**

Se utilizó semilla de 26 líneas S<sub>5</sub> de maíz que poseen el carácter tallos gemelos (TG). Esta semilla se obtuvo a partir de aumentos con polinizaciones fraternales en el ciclo agrícola 2011, en Montecillo, Estado de México. Las líneas fueron formadas al introducir, primero por retrocruzamiento, el carácter tallos gemelos a tres líneas élite normales (1040, 1041 y 1053) del programa de Fisiotecnia Vegetal, Genética- IREGEP- Colegio de Postgraduados, y después mediante autofecundaciones y selección de líneas.

Para este estudio las líneas se clasificaron en grupos, con base en sus líneas originales (1040G, 1041G y 1053G) y por la frecuencia de tallos gemelos (alta y baja). En las 26 líneas estudiadas se observó que el porcentaje de plantas con tallos gemelos aumentó con respecto al registro señalado en el ciclo agrícola previo (Montecillo, 2011). Por lo que se reclasificaron; así, una línea de alta frecuencia (AFG) fue aquella que tuvo más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) la que tuvo semillas que producen plantas con tallos gemelos menor a 45.5 % (Cuadro 1). Así se tuvieron 14 líneas de alta frecuencia y 12 de baja frecuencia de tallos gemelos.

Como testigos se incluyeron dos de las tres líneas originales (1041Or y 1053Or); dos compuestos balanceados: de gemelos (CBG: este compuesto fue formado con mezcla

de semillas de plantas gemelas de los tres grupos de líneas 1040G, 1041G y 1053G con tres ciclos de recombinación) y de no gemelos (CBNG: se formó con semilla de plantas no gemelas del grupo de líneas con el carácter tallos gemelos); dos materiales mejorados: H-San José y H-San Marcos de grano blanco y amarillo, respectivamente y tres poblaciones nativas: Chalco-352 y Oaxaca-394 (poblaciones de grano azul con alto contenido de proteína) y Huexotla (población local de maíz de grano blanco).

**Cuadro 1.** Grupos de líneas clasificadas por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos, alta (AFG) y baja (BFG). Montecillo, Estado de México, 2012.

Líneas con el carácter tallos gemelos					
1040G		1041G		1053G	
Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia
2446	AFG	2463	AFG	2470	AFG
2447	AFG	2464	AFG	2473	AFG
2449	AFG	2465	AFG	2471	BFG
2450	AFG	2466	AFG	2472	BFG
2451	AFG	2467	BFG		
2453	AFG	2468	BFG		
2454	AFG				
2460	AFG				
2448	BFG				
2452	BFG				
2455	BFG				
2456	BFG				
2457	BFG				
2458	BFG				
2459	BFG				
2461	BFG				

Una línea de alta frecuencia (AFG) fue aquella que tuvo más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) la que tuvo semillas que producen plantas con tallos gemelos menor a 45.5 %.

#### **4.3.2. Variables a evaluar**

##### **Identificación y caracterización de los tipos de expresión morfológica de**

**embriones gemelos:** Se disecaron 50 granos de cada línea. Las semillas con ocho horas de remojo fueron separadas en cada una de sus estructuras (pericarpio, endospermo y embrión), utilizando bisturí, pinzas y agujas de disección. Con un microscopio estereoscópico (aumento de 10 x), al tejido embrionario se le realizó un análisis visual detallado buscando la presencia de embriones gemelos, a éstos se les describió su morfología y se determinaron las características que los hacían diferentes entre sí y al tipo normal (un solo tallo); es decir, si los embriones eran totalmente independientes o si se encontraban compartiendo una o más estructuras. Se obtuvieron fotografías de los embriones para clasificarlos y describirlos con base en su morfología.

**Porcentaje de embriones gemelos (PEG):** Para presentar los resultados de esta variable de caracterización del tipo de embrión se hicieron histogramas donde se muestra el porcentaje de cada tipo de embrión con respecto al total de embriones gemelos presentes en las 26 líneas evaluadas.

**Determinación de porcentajes de estructuras de la semilla:** Una vez separada la semilla en cada una de sus estructuras: pericarpio, endospermo y embrión; éstos se sometieron a secado en una estufa (60 °C por 72 h); se registró el peso seco de cada una de las estructuras utilizando una balanza analítica con precisión de milésimas de gramo (OHAUS®) y la biomasa se expresó en porcentaje.

### **4.3.3. Diseño del experimento**

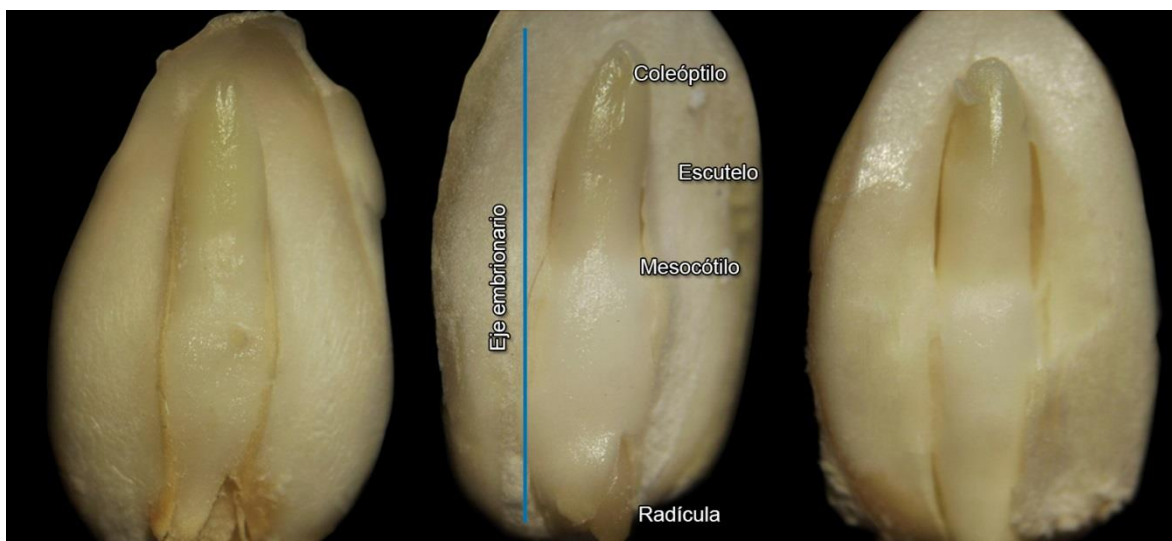
Para la determinación de las estructuras del grano, estas variables se analizaron conforme a un diseño experimental completamente al azar. Los valores obtenidos en porcentajes fueron transformados mediante la función arco seno. Se hicieron pruebas de comparación de medias Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para encontrar diferencias estadísticas entre tratamientos. Se utilizó el programa SAS versión 9.0.

## 4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.4.1. Valoración morfológica de embriones.

De las 1,300 semillas disecadas provenientes de las 26 líneas que poseen el carácter tallos gemelos; 38 % presentaron un embrión de tipo normal y 62 % tuvieron una morfología diferente a la de un embrión normal. Estos últimos se describen a continuación:

**Tipo I.** Embrión normal, no gemelo, está constituido por el eje embrionario y el escutelo. El eje embrionario está compuesto por la plúmula (cubierta por el coleóptilo) y la radícula, ambos ápices meristemáticos se encuentran hacia los extremos del eje embrionario y están unidos por el mesocótilo, donde se inserta el escutelo o cotiledón (Vázquez *et al.*, 1997). El eje embrionario es largo, delgado y su tamaño es de 80 % en proporción al escutelo (Figura 1). Los porcentajes de las diferentes estructuras que componen a la semilla con este tipo de embrión fueron: pericarpio 7.1 %, endospermo 79.6 % y embrión 13.3 %.

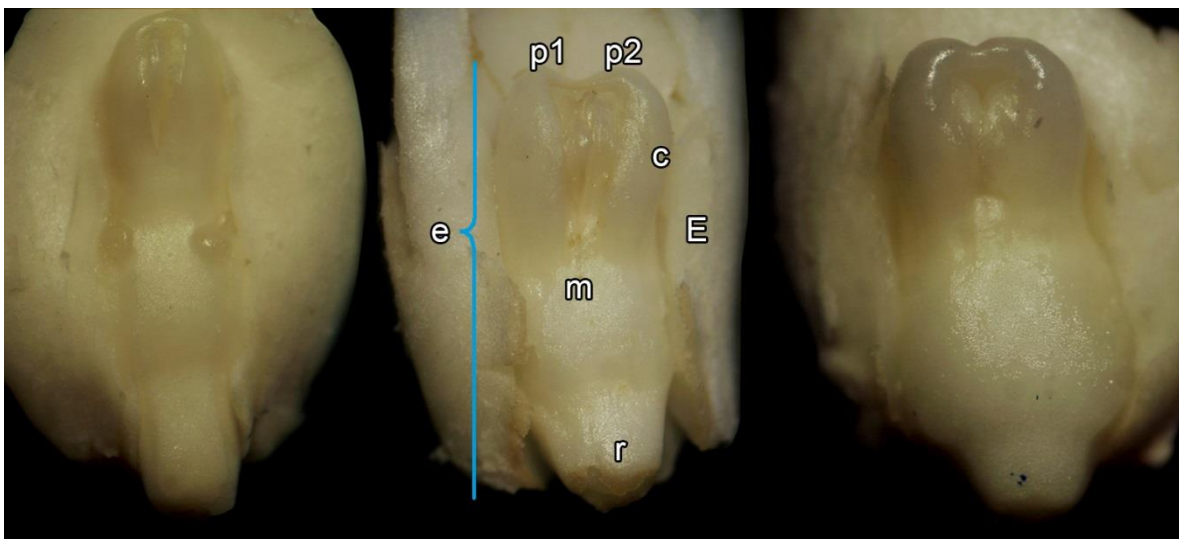


**Figura 1.** Tres semillas de maíz con embriones Tipo I o normal.

#### 4.4.2. Identificación y caracterización de los tipos de expresión morfológica de embriones de líneas de maíz con el carácter tallos gemelos

En 62 % de las semillas que presentaron una morfología diferente a la de un embrión normal, se identificaron nueve tipos de expresiones morfológicas de embriones gemelares:

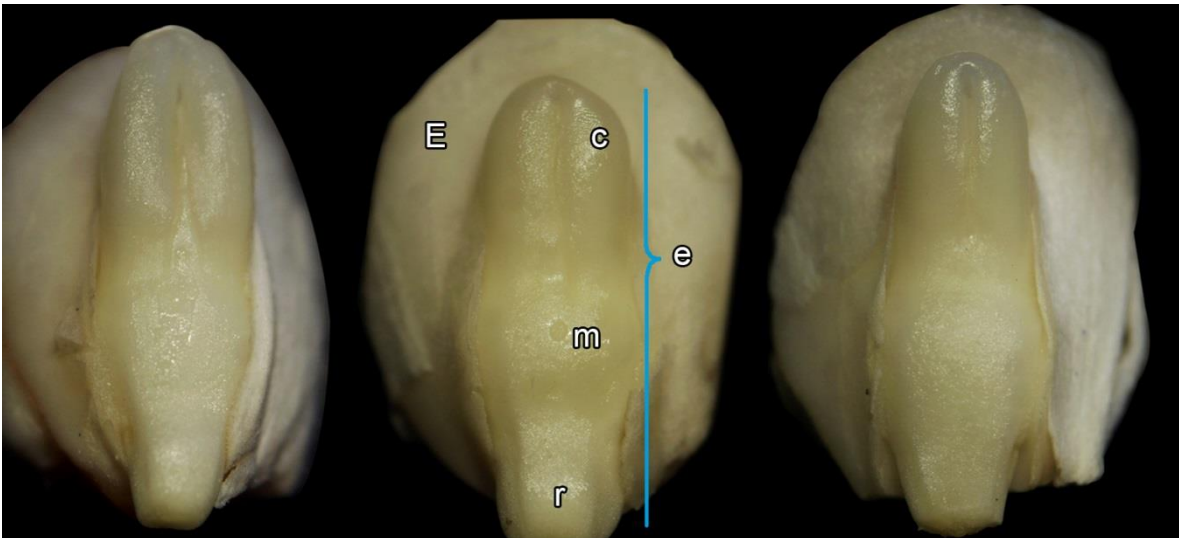
**Tipo II:** Embrión con dos plúmulas (se observan a través de la abertura del coleóptilo) comparten el coleóptilo y presenta sólo una radícula. Su proporción con respecto al escutelo fue de 77.6 %. El porcentaje de los componentes estructurales de la semillas de este tipo de embrión fueron: pericarpio 8.2 % endospermo 81.6 % y embrión 10.2 %. Este tipo de embrión fue el más común, se observó en 44.1 % de todos los embriones gemelos estudiados (Figura 2).



*e: eje embrionario; c: coleóptilo; m: mesocótilo; r: radícula; p=plúmula y E: escutelo*  
**Figura 2.** Eje embrionario con plúmulas encerradas en un coleóptilo, Tipo II.

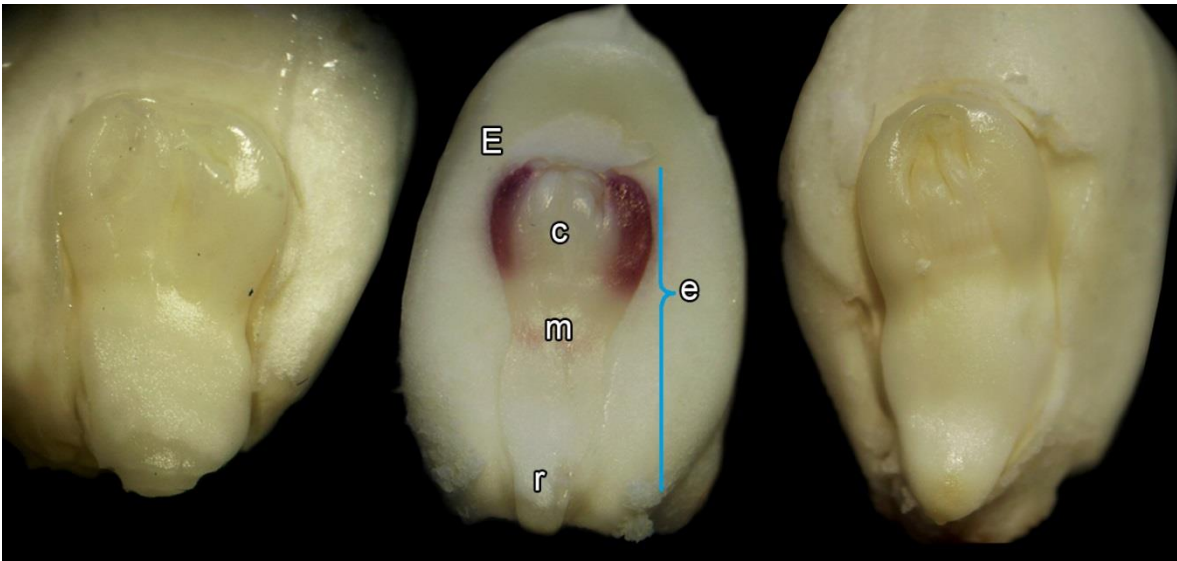


**Tipo III:** El eje embrionario presenta un coleóptilo ancho y dividido, la región del mesocótilo es ancha y presenta una sola radícula con su coleorriza. Su proporción con respecto al escutelo fue de 81.3 %. El porcentaje de los componentes estructurales de la semilla fueron: pericarpio 7.7 % endospermo 82.1 % y embrión 10.2 %. Este tipo de embriones se expresaron en 22.9 % del total de embriones gemelos estudiados (Figura 3).



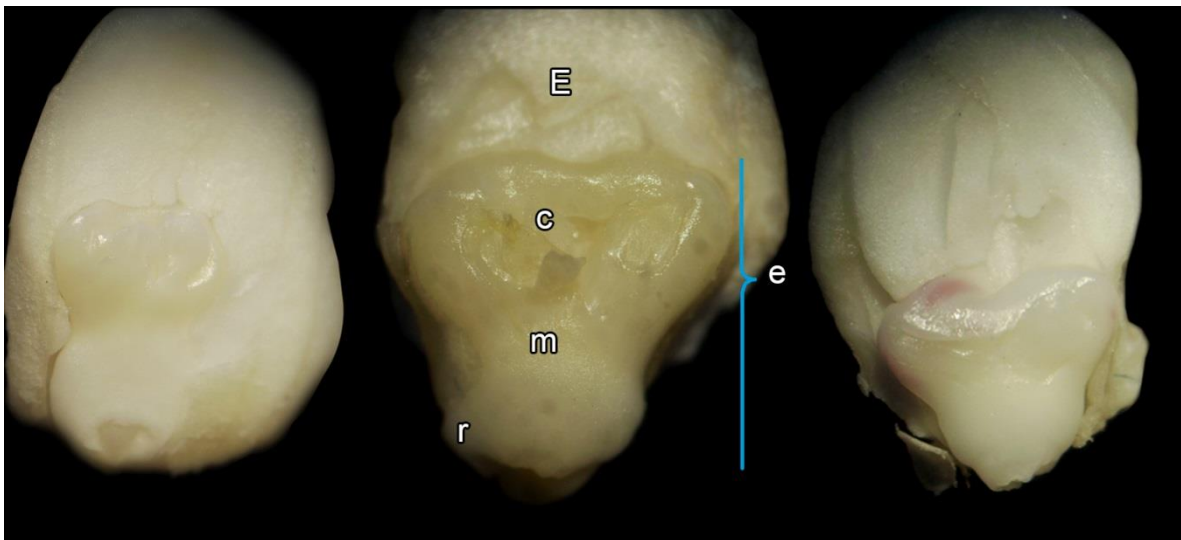
*e: eje embrionario; c: coleoptilo; m: mesocótilo; r: radícula; p=plúmula y E: escutelo*  
**Figura 3. Embrión con coleóptilo ancho y dividido, Tipo III.**

**Tipo IV:** El eje embrionario presenta coleóptilo ancho (plúmulas anchas en forma de roseta), el área del mesocótilo es ancha y presentan una sola radícula. La proporción del eje embrionario con respecto al escutelo fue de 70.4 %. El porcentaje de biomas de los componentes estructurales de la semilla fueron: pericarpio 7.1 % endospermo 82.5 % y embrión 10.4 %. Este tipo se manifestó en 20.3 % de los embriones gemelos (Figura 4).



*e: eje embrionario; c: coleóptilo; m: mesocótilo; r: radícula; p=plúmula y E: escutelo*  
**Figura 4. Eje embrionario con plúmula en forma de roseta, Tipo IV.**

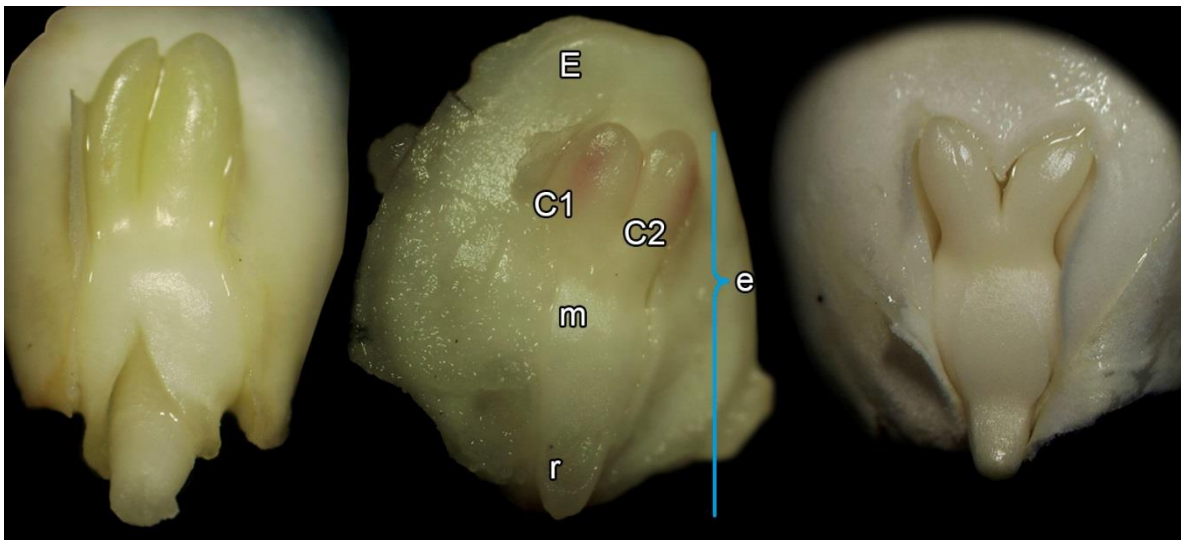
**Tipo V:** Embrión con eje embrionario pequeño y de forma irregular, presenta una plúmula ancha y redonda, el área del mesocótilo es ancha y corta (Figura 5). Su proporción con respecto al escutelo fue de 42.5 %. El porcentaje de biomasa de los componentes estructurales de la semilla fueron: pericarpio 8.1 %, endospermo 84 % y embrión 7.9 %. Este tipo de embrión estuvo presente en 6.5 % del total de embriones gemelos.



*e: eje embrionario c: coleóptilo; m: mesocótilo; r:radícula y E: escutelo*

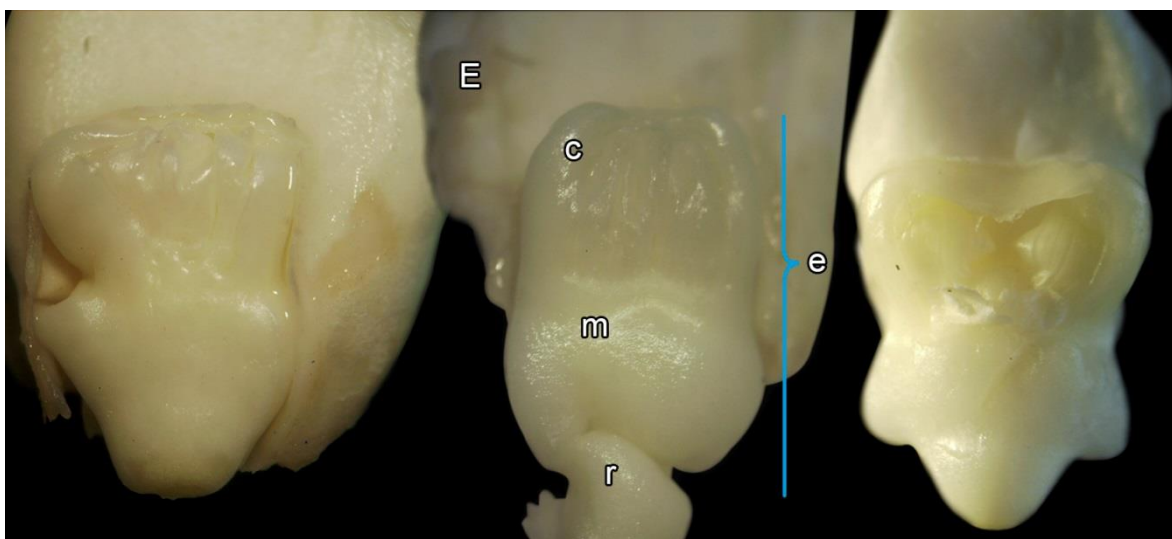
**Figura 5. Embriones con eje embrionario pequeño y de forma irregular, Tipo V.**

**Tipo VI:** Eje embrionario bifurcado, presenta dos coleóptilos que encierran a las dos plúmulas, el área del mesocótilo es ancha y se observa una radícula (Figura 6). Su proporción con respecto al escutelo fue de 75 %. El porcentaje de la biomasa de los componentes estructurales de la semilla fue: pericarpio 8.1 %, endospermo 82.5 % y embrión 9.4 %. Este tipo de embrión tuvo una presencia de sólo 3.3 % del total de embriones gemelos.



*e: eje embrionario c: coleóptilo; m: mesocótilo; r: radícula y E: escutelo*  
**Figura 6. Embriones con eje embrionario bifurcado, Tipo VI.**

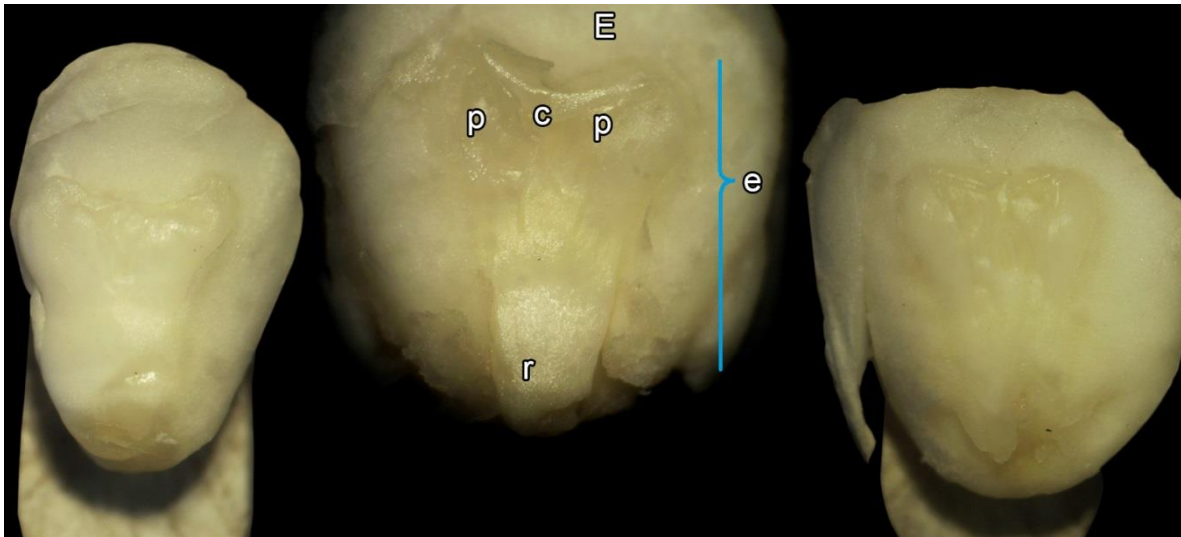
**Tipo VII:** Embrión con el eje embrionario en forma cuadrada; la adquisición de esta forma es posible que se deba a la presencia de varias plúmulas (tres o cuatro) envueltas en un mismo coleóptilo (Figura 7). Su dimensión con respecto al escutelo fue de 72.2 %. El porcentaje de la biomasa de los componentes estructurales de la semilla fue: pericarpio 8.1 % endospermo 82.3 % y embrión 9.5 %. Este tipo de expresión se manifestó solamente en 1.3 % de los embriones con morfología diferente a la normal.



*e: eje embrionario; c: coleóptilo; m: mesocótilo; r: radícula; p: plúmula y E: escutelo*

**Figura 7. Eje embrionario de forma cuadrada, Tipo VII.**

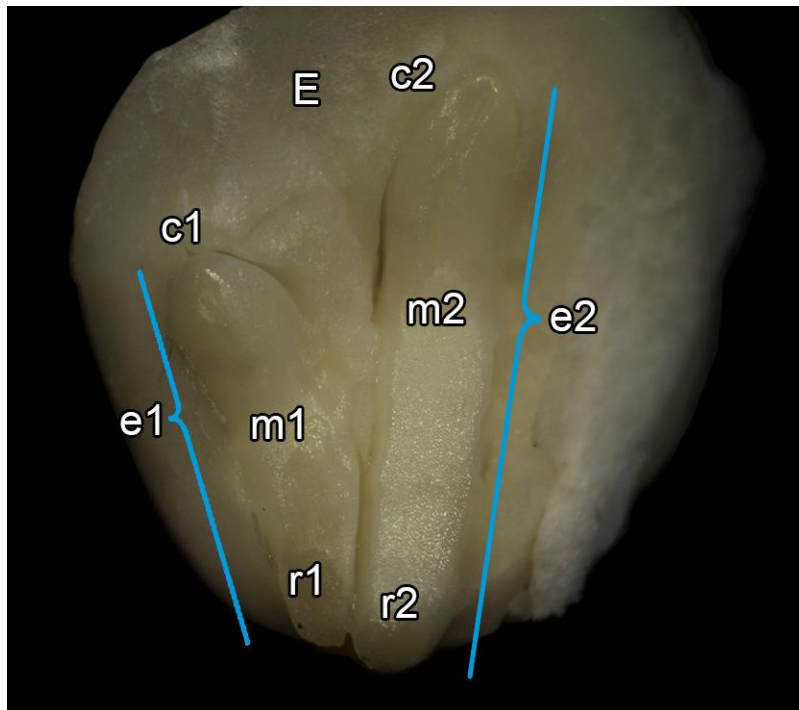
**Tipo VIII.** Eje embrionario pequeño y en forma de V, con coleóptilo ancho y de forma irregular (puede presentar dos o más plúmulas en su interior) y el grosor del eje embrionario va disminuyendo hacia la radícula. La proporción del eje embrionario con respecto al escutelo fue de 69.4 %. El porcentaje de la biomasa de los componentes estructurales de la semilla fue: pericarpio 7.4 % endospermo 84.7 % y embrión 7.9 % (Figura 8). Este tipo de embrión estuvo presente en 1.3 % del total de embriones gemelos



*e: eje embrionario; c: coleóptilo; m: mesocótilo; r: radícula; p=plúmula y E: escutelo*

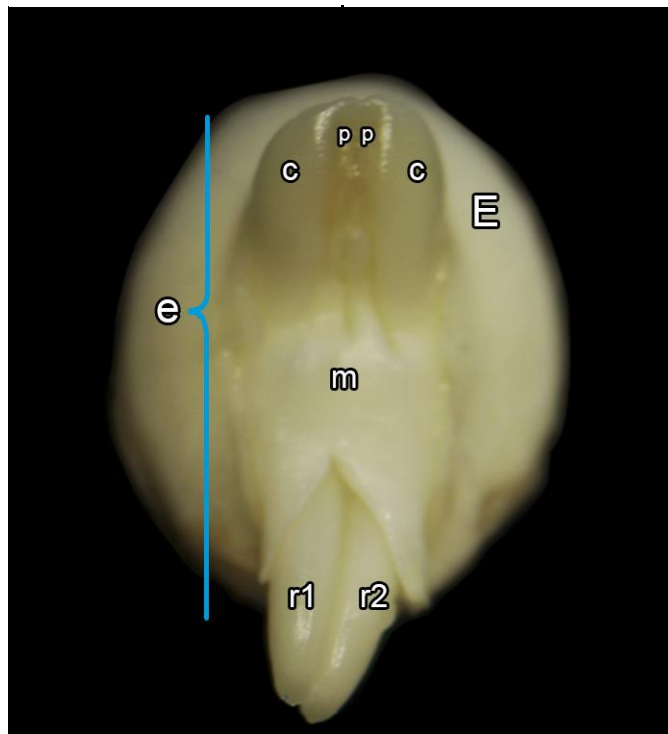
**Figura 8. Embriones con eje embrionario pequeño y en forma de V, Tipo VIII.**

**Tipo IX:** Presencia de dos ejes embrionarios independientes compartiendo un escutelo; uno de los dos ejes embrionarios presentó menor tamaño con respecto al otro. Su proporción con respecto al escutelo fue de 80 % y la composición de las estructuras que componen al grano fue: pericarpio 8 %, endospermo 80 % y embrión 12 % (Figura 9). Este tipo de embriones tuvo una presencia de 0.1 %.



*e: eje embrionario c: coleóptilo; m: mesocótilo; r:radícula y E: escutelo*  
**Figura 9. Embrión con dos ejes embrionarios, Tipo IX.**

**Tipo X:** Eje embrionario con el coleóptilo abierto mostrando las plúmulas, presenta dos radículas; el área del mesocótilo es ancha. La proporción del eje embrionario con respecto al escutelo fue de 95 %. El porcentaje de la biomasa de los componentes estructurales de la semilla fue: pericarpio 7 %, endospermo 82 % y embrión 11 %. Este tipo de embrión se manifestó en solo 0.1 % de los embriones gemelos (Figura 10).



*e: eje embrionario; c: coleoptilo; m: mesocótilo; r:radícula; p:plúmula y E: escutelo*

**Figura 10. Eje embrionario con dos plúmulas y dos radículas, Tipo X.**

En los nueve tipos de embriones gemelos encontrados, se pudo observar que no existen embriones múltiples contenidos en una sola semilla, pues la morfología de éstos solo muestra la bifurcación del eje embrionario, contrariamente a lo señalado por Espinoza *et al.* (1998) quienes reportan que la aparición de dos o más plantas en maíz provenientes de una semilla es debida al fenómeno de poliembrionía; sin embargo, en



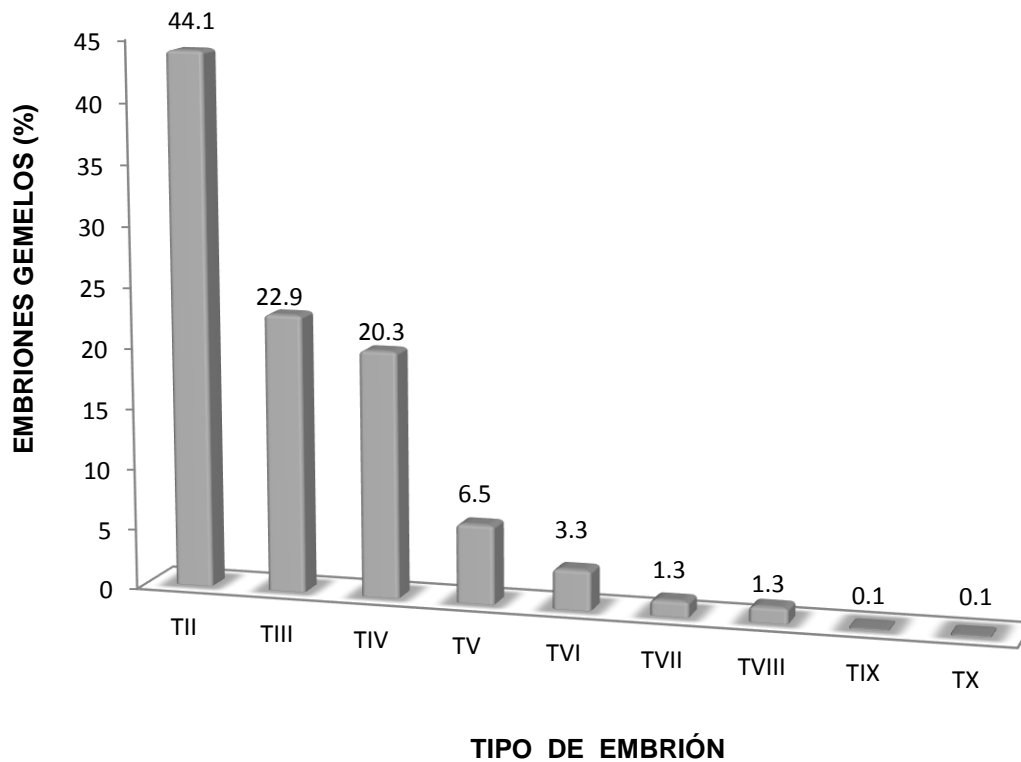
este trabajo sólo se encontró que el 0.1 % de las semillas disecadas presentó dos ejes embrionarios independientes pero compartiendo el mismo escutelo. Pareciera que la diferenciación de los dos ejes de los embriones que aquí se presentan se está definiendo durante el desarrollo embrionario, por lo que no es posible que se desarrollen embriones de diferente origen al sexual y sí que se dé la dicotomía del eje embrionario.

Con respecto a los componentes estructurales del grano, se encontró que el porcentaje correspondiente a la biomasa del embrión en los tipos IV, V, VI, VII, y VIII fluctuó entre 7.9 % y 9.5 %, porcentajes menores a los registrados en otros estudios; el peso seco del pericarpio y del endospermo sí están en el intervalo de proporciones establecido para la semilla de maíz. Los estudios señalan que cada estructura anatómica de la semilla de maíz tiene diferente proporción en cuanto a la acumulación de biomasa; el embrión, pericarpio y endospermo, generalmente abarcan 10 a 12 %, 6 a 8 % y 82 a 83 %, respectivamente, del peso seco total (Pomeranz, 1987; Rooney *et al.*, 2004).

#### **4.4.3. Porcentaje de expresión de los tipos de embriones gemelos en los grupos de líneas**

En el grupo 1040G, los tipos de embriones gemelos que más se observaron fueron: el Tipo IV con 30 %, seguido del Tipo III (27.5 %) y el Tipo II con 26 %. De éstos la línea 2447 fue la de mayor porcentaje (52 %) de embriones gemelos Tipo IV, las líneas 2455 y 2458 fueron las de mayor porcentaje del Tipo III (43 %) y la 2447 presentó el mayor porcentaje del Tipo II (53 %). En el grupo 1041G, los embriones que más se observaron fueron del Tipo II con 66 %, y las líneas 2463, 2464, 2465, 2466 y 2468 fueron las que mostraron los porcentajes más altos (62 % a 76.5 %). En el grupo 1053, los embriones

que más se presentaron fueron el Tipo II con 65 %; en este grupo todas sus líneas mostraron porcentajes altos de este tipo de embrión (50 % a 74 %). El embrión Tipo IX sólo se expresó en la línea 2455 del grupo 1040G y el embrión Tipo X únicamente se observó en la línea 2470 del grupo 1053G (Cuadro 2).



**Figura 11. Porcentaje de los tipos de embriones gemelos, en líneas de maíz con el carácter tallos gemelos.**

En la Figura 11 se observan los porcentajes de cada uno de los tipos de embriones identificados. Del total de embriones gemelos (morfología diferente al del normal) en las 26 líneas estudiadas, el embrión Tipo II fue el que se expresó en mayor porcentaje (44.1 %), seguido del Tipo III con 22.9 %, el Tipo IV con 20.3 %; el Tipo V con 6.5 %; el Tipo VI con 3.3 %, los Tipos VII y VIII con 1.3 % y los de menor porcentaje fueron los Tipos IX y X con 0.1 %.

Los embriones Tipos II, III y X coinciden con los identificados por Chase y Kernan (2004), embriones pseudogemelos por su morfología: a) bifurcados a partir del nudo escutelar, con dos plúmulas, b) embrión bifurcado debajo del nudo escutelar y presenta dos radículas, y c) embriones con dos plúmulas y dos radículas.

**Cuadro 2.** Porcentaje de tipos de embriones gemelos presentes en cada línea con el carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

Grupo	Línea	Tipo de embrión gemelo (%)								
		TII	TIII	TIV	TV	TVI	TVII	TVIII	TIX	TX
1040G	2446	35.7	14.3	32.1	0.0	0.0	3.6	14.3	0.0	0.0
	2447	52.9	17.6	11.8	0.0	0.0	2.9	14.7	0.0	0.0
	2448	30.0	26.7	26.7	10.0	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	2449	16.7	5.6	47.2	25.0	2.8	2.8	0.0	0.0	0.0
	2450	0.0	0.0	40.0	60.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2451	6.1	27.3	57.6	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2452	33.3	42.9	9.5	4.8	0.0	4.8	0.0	4.8	0.0
	2453	26.5	35.3	20.6	14.7	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0
	2454	32.1	28.6	28.6	3.6	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
	2455	30.8	50.0	15.4	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2456	44.8	34.5	6.9	3.4	6.9	3.4	0.0	0.0	0.0
	2457	5.4	16.2	62.2	10.8	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0
	2458	14.3	42.9	28.6	10.7	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	2459	26.7	26.7	43.3	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0
	2460	43.5	47.8	4.3	0.0	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2461	23.5	23.5	38.2	2.9	8.8	2.9	0.0	0.0	0.0	
1041G	2463	76.5	14.7	5.9	0.0	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0
	2464	75.6	17.1	0.0	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0	0.0
	2465	62.5	9.4	9.4	18.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2466	74.4	16.3	2.3	2.3	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	2467	31.6	47.4	5.3	15.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2468	75.6	2.4	7.3	7.3	2.4	2.4	2.4	0.0	0.0
1053G	2470	74.3	8.6	5.7	2.9	2.9	2.9	0.0	0.0	2.9
	2471	53.3	30.0	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	2472	74.1	14.8	3.7	3.7	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
	2473	59.1	22.7	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0	0.0	0.0

**TII:** Embrión con dos plúmulas **TIII:** eje embrionario con un coleóptilo ancho y dividido **TIV:** Eje embrionario con plúmula en forma de roseta **TV:** Embrión con eje embrionario pequeño y de forma irregular **TVI:** Embrión con eje embrionario bifurcado **TVII:** Eje embrionario de forma cuadrada **TVIII:** Embrión con eje embrionario pequeño y en forma de V. **TIX:** Embrión con dos ejes embrionarios **TX:** Eje embrionario con dos plúmulas y dos radículas.

#### 4.4.4. Proporción de biomasa contenida en las estructuras de la semilla

En el análisis de varianza realizado a los 35 genotipos y por grupos, se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las variables de los componentes estructurales de la semilla (Cuadros 3 y 4). Para el análisis estadístico, los datos fueron transformados mediante la función arco seno, pero para fines explicativos, en los Cuadros 5 y 6 se muestran los valores reales en porcentajes.

**Cuadro 3.** Cuadrados medios de los componentes estructurales de la semilla.

FV	GL	Pericarpio	Endospermo	Embrión
Genotipos	34	8.7**	11.8**	15.7**
Error	315	0.79	1.15	1.34
CV (%)		5.61	1.66	5.98

\*\*= indican diferencias altamente significativa  $p=0.01$

**Cuadro 4.** Cuadrados medios de los componentes estructurales de la semilla en los grupos de poblaciones gemelas y no gemelas. Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.

FV	GL	Pericarpio	Endospermo	Embrión
Grupo	11	9.11*	22.28**	27.64**
Error	338	1.31	1.54	1.93
CV (%)		7.23	1.9	7.16

\*=Indican diferencias significativas  $p=0.05$ ; \*\*= indican diferencias altamente significativa  $p=0.01$

En la prueba de medias de Tukey de las 26 líneas con el carácter tallos gemelos en estudio, 46 % de ellas mostraron valores de porcentaje de pericarpio entre 7.6 % y 9.7 %, el restante 54 % de líneas presentaron valores menores a 7.5 %. Las líneas que

exhibieron mayor porcentaje en estas estructuras fueron: 2467, 2468 del grupo 1041G, ambas líneas tuvieron 9.1 %, y la línea 2473 (grupo 1053G) tuvo 9.7 %. El menor porcentaje de estas estructuras (6.1 %), lo presentó la línea 2451 del grupo 1040G (Cuadro 5).

En los grupos de líneas de tallos gemelos se encontraron diferencias en esta variable, el grupo 1040G tuvo el menor porcentaje (7.4 %) de pericarpio, seguido del grupo 1053 con 7.9 % y el grupo con mayor porcentaje en estas estructuras fue el 1041G con 8.3 % (Cuadro 6). En promedio, los grupos de líneas de tallos gemelos mostraron 7.3 % de pericarpio en sus semillas

En los compuestos balanceados se encontraron diferencias entre sí, el CBG tuvo 7.1 % de pericarpio y el CBNG mostró 7.8 % en estas estructuras, el promedio de los CB fue de 7.4 %. En los testigos se presentaron diferencias, la población nativa local Huexotla fue la de mayor contenido (7.7 %) de pericarpio en sus semillas, y la de menor contenido fue la población nativa azul con 6.1% (Cuadro 6). En el grupo de testigos se observó un promedio de 7.2 % en pericarpio. En general, el grupo de los testigos mostraron menor porcentaje de pericarpio, que las líneas de tallos gemelos.

Con respecto al contenido de endospermo, 16 de las 26 líneas de tallos gemelos, tuvieron valores mayores a 81.7 % de la biomasa de sus semillas. Las líneas que mayor porcentaje de endospermo presentaron (83.2 % a 83.5 %) fueron: 2455, 2450, 2446 y 2453, todas del grupo 1040G. Por grupos de líneas, el 1040G fue el de mayor porcentaje de endospermo con 82.2 %, seguido del grupo 1053G con 81.9 % y el de menor contenido fue el grupo 1041G con 80.9 % (Cuadro 5). El promedio general de los grupos de líneas con tallos gemelos en esta variable fue de 81.7 %.

En los compuestos balanceados no se encontraron diferencias entre sí, el promedio de ambos fue de 81.9 % de endospermo. En los testigos se encontraron diferencias, el material nativo Oaxaca- 394, de grano azul, fue el que mostró mayor contenido de endospermo (82.8 %) y el de menor contenido fue el nativo azul Chalco-352. El promedio general de los testigos fue de 80.4 % (Cuadro 6).

En la variable porcentaje de biomasa del embrión, 42 % de las 26 líneas con el carácter tallos gemelos evaluadas presentaron valores de 10.9 % a 12.6 % y el 58 % restante presentaron valores de 9.2 % a 10.5 % (Cuadro 5).

Las líneas de tallos gemelos que mostraron mayor contenido biomasa de embrión fueron 2452 y 2458 (del grupo 1040G) con 12 % y 12.6 %, respectivamente; la línea 2468 del grupo 1041G con 12.5 % y la 2470, del grupo 1053G con 12.4 %. Entre los grupos de líneas de tallos gemelos no se encontraron diferencias en esta variable (Cuadro 5). El promedio general de las líneas de tallos gemelos fue de 10.7 % de contenido de embrión en sus semillas.

Los compuestos balanceados de tallos gemelos y no gemelos presentaron porcentajes de embrión similares (10.7 %). En los testigos se encontraron diferencias, la línea original 1053Or fue la que tuvo el mayor porcentaje con 14.1 % y el híbrido H-San Marcos fue el de menor valor con 11 % (Cuadro 6). El promedio general de biomasa de embrión de los testigos fue de 12.4 %.

Los testigos acumularon 1.7 % más biomasa de embrión en sus semillas, comparados con las líneas de tallos gemelos.

**Cuadro 5.** Proporción (%) de biomasa contenida en las estructuras de la semilla de maíz de líneas con el carácter tallos gemelos. Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.

No.	Grupo	Línea	Frecuencia	Estructuras de la semilla (%)		
				Pericarpio	Endospermo	Embrión
1	1040G	2446	AFG	7.2 m	83.3 a	9.5 p
2		2447	AFG	8.0 h	82.2 e	9.8 n
3		2448	BFG	8.5 e	81.7 e	9.8 n
4		2449	AFG	7.2 m	81.8 e	10.9 k
5		2450	AFG	6.7 o	83.5 a	9.9 m
6		2451	AFG	6.1 q	81.9 e	12.0 e
7		2452	BFG	8.6 e	81.2 g	10.2 l
8		2453	AFG	7.6 k	83.2 a	9.2 q
9		2454	AFG	7.7 i	82.8 b	9.4 q
10		2455	BFG	6.8 o	83.5 a	9.6 p
11		2456	BFG	6.7 o	82.8 b	10.5 k
12		2457	BFG	6.6 p	81.5 g	11.9 f
13		2458	BFG	7.0 n	80.5 h	12.6 c
14		2459	BFG	6.5 p	81.8 e	11.7 h
15		2460	AFG	8.3 f	82.1 e	9.6 p
16		2461	BFG	6.6 p	82.1 e	11.3 i
	<b>Promedio</b>			<b>7.3</b>	<b>82.2</b>	<b>10.5</b>
17	1041G	2463	AFG	7.3 m	82.6 d	10.1 m
18		2464	AFG	8.3 g	81.5 f	10.2 l
19		2465	AFG	7.4 l	82.9 b	9.7 o
20		2466	AFG	8.8 d	80.3 i	10.9 k
21		2467	BFG	9.1 b	79.7 k	11.1 j
22		2468	BFG	9.1 c	78.5 n	12.5 c
		<b>Promedio</b>			<b>8.3</b>	<b>80.9</b>
23	1053G	2470	AFG	7.4 l	80.2 i	12.4 d
24		2471	BFG	7.7 j	82.1 e	10.2 m
25		2472	BFG	6.8 o	81.3 g	11.9 g
26		2473	AFG	9.7 a	80.2 j	10.1 m
	<b>Promedio</b>			<b>7.9</b>	<b>81.0</b>	<b>11.1</b>

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

**Cuadro 6.** Porcentaje de biomasa de las estructuras de la semilla de líneas de maíz con el carácter tallos gemelos. Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.

GRUPOS	No. líneas	Componentes estructurales de la semilla			
		Pericarpio (%)	Endospermo (%)	Embrión (%)	
1040 G	16	7.3 c	82.2 b	10.5 c	
1041 G	6	8.3 a	80.9 c	10.8 c	
1053 G	4	7.9 b	81.0 c	11.1 c	
1041 Original	1	7.6 b	78.5 f	13.9 a	
1053 Original	1	6.9 d	79.0 e	14.1 a	
Compuestos balanceados ¥					
CB Gemelos	1	7.1 c	82.2 b	10.8 c	
CB No Gemelos	1	7.8 b	81.5 b	10.7 c	
Nativos					
Azul	Chalco 352	1	7.6 b	78.4 f	13.9 a
Azul	Oaxaca 394	1	6.1 e	82.8 a	11.1 c
Blanco	Huexotla	1	7.7 b	79.0 e	13.4 a
Mejorados					
Blanco	H-San José	1	7.3 c	81.7 d	12.5 b
Amarillo	H-San Marcos	1	7.3 c	80.2 b	11.0 c
DMS			1.5	1.6	1.8

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ¥Los compuestos balanceados de tallos gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de los tres grupos de líneas de mayor y menor frecuencia de tallos gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, con tres ciclos de recombinación.



#### 4.4.5. Componentes estructurales de la semilla de plantas de tallos gemelos y no gemelos

La siguiente evaluación se hizo con semillas de líneas con el carácter tallos gemelos y con semilla de líneas originales (sin el carácter de tallos gemelos). Se compararon los componentes estructurales de las semillas que presentaron embrión del tipo normal versus embriones gemelos dentro de la misma línea y embriones de líneas originales (que no poseen el carácter).

Los análisis muestran que se encontraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en las variables de porcentaje de endospermo y embrión, en los diferentes tipos de embriones evaluados. En la variable biomasa de pericarpio no hubo diferencias entre los tres tipos de embriones (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Cuadrados medios de los componentes estructurales de la semilla de diferentes tipos de embriones. Montecillo, Texcoco, Estado de México 2012.

FV	GL	Pericarpio	Endospermo	Embrión
Tipo embrión	2	8.56	138.67*	200.94**
Error	576	1.95	5.29	3.92
CV (%)		18.42	2.81	18.4

FV= Fuentes de variación, GL=Grados de libertad,  
\*=Indican diferencias significativas  $p=0.05$ ; \*\*= diferencias altamente significativa  $p=0.01$

De la prueba de medias Tukey se encontró que en la variable porcentaje de endospermo proveniente de semillas de las líneas originales, presentó menor biomasa (3.2 %) que el de las semillas de tipo normal y de las semillas de gemelos de las líneas con tallos gemelos. En lo que respecta a la variable porcentaje de embrión, las líneas

originales mostraron mayor biomasa de éste en sus semillas, tuvieron 3.9 % más biomasa que los embriones de las semillas con embriones gemelos y 2.8 % más que los embriones normales de semillas provenientes de líneas con tallos gemelos. En la variable pericarpio, no hubo diferencias entre los tres tipos de semillas (Cuadro 8).

**Cuadro 8.** Porcentajes de las estructuras de semilla por tipo de semilla.

Semilla con	Estructura de la semilla (%)		
	Pericarpio	Endospermo	Embrión
Embrión Gemelo	7.8 a	82.2 a	10.1 c
Embrión Normal	7.4 a	81.3 a	11.2 b
Línea Original	7.4 a	78.6 b	14.0 a
DMS	0.7	1.1	0.9

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

#### 4.5. CONCLUSIONES

Conforme a los objetivos e hipótesis planteados se concluye que:

En las líneas de tallos gemelos se identificaron nueve tipos de expresión morfológica de sus embriones gemelos, siendo el Tipo II el que se manifestó con más frecuencia.

En cuanto a los componentes estructurales de la semilla, las líneas de tallos gemelos tuvieron mayor biomasa en el pericarpio y en el endospermo, comparadas con las semillas de los testigos no gemelos.

El porcentaje de biomasa contenida en el embrión de las semillas de las líneas con tallos gemelos fue menor comparado con la de los testigos no gemelos.

Al comparar los tipos de semillas, las líneas originales mostraron mayor contenido de embrión; tuvieron 3.9 % más biomasa que las de los embriones gemelos y 2.8 % más que las semillas de embriones normales presentes en las líneas con tallos gemelos.

#### 4.6. LITERATURA CITADA

- Bartolini, R. 1984.** El maíz. Agro guías Mundi-Prensa. Madrid, España. 277 p.
- Chase, S. S. and P. Kernan. 2004.** Maize Genetics Cooperation Newsletter 78. Division of Biological Sciences and Department of Agronomy and U. S. Department of Agriculture. University of Missouri Columbia, Missouri. pp: 53-45.
- Cruz H. y Jeglay, Y. 2006.** Relación suelo-planta- hombre en el cultivo de maíz (*Zea mays L.*). Facultad de Agronomía. Postgrado en ciencia del suelo. Maracay. Universidad Central de Venezuela. [En Línea]. Disponible en: <ftpctic.agr.ucv.ve/intranet/postgrado/suelo/maiz.doc> (revisado el 13 de mayo 211).
- Esau, K. 1985.** Anatomía vegetal. Ediciones Omega, S.A. Barcelona, España. 568 p.
- Espinoza, J., M. C. Vega, E. Navarro, G. A. Burciaga. 1998.** Poliembrionía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana* 9(2):83-88.
- Flores, V. E. 1999.** La planta: Estructura y función. Vol. I y II. Libro Universitario Regional. Costa Rica. 884 p.
- Pomeranz, Y. 1987.** Modern Cereal Science and Technology. VCH. USA. pp: 468
- Reyes, C. P. 1990.** El maíz y su cultivo. AGT Editor. México. 460 p.
- Rooney, L. W., C. M. McDonough and R. D. Waniska. 2004.** The Corn Kernel. Chapter 2.2. *In* Corn: Origin, history, technology and production. C. Wayne S. J. Bertrán. (eds.). E.C.A. Runge Wiley Series in Crop Science. Texas A & U, University U.S.A. pp: 273-304.
- Vázquez, C. Y., A. Orozco., M. E. Sánchez, V. Cervantes. 1997.** La reproducción de las plantas: Semillas y meristemas. La ciencia para todos. México. 167 p.
- White, P. J. and L. A. Johnson. 2003.** Corn: Chemistry and Technology. American

## CAPÍTULO V

### EXPRESIÓN FENOTÍPICA DE PLÁNTULAS DE LÍNEAS DE MAÍZ CON EL CARÁCTER TALLOS GEMELOS.

#### 5.1. RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue Identificar los tipos de expresión fenotípica de plántulas obtenidas de líneas con el carácter tallos gemelos (TG) y evaluar el vigor de estas líneas versus materiales genéticos que no poseen el carácter. Para llevar a cabo el estudio se utilizó semilla de 26 líneas S<sub>5</sub>, con alto porcentaje de TG; como testigos se utilizaron dos compuestos balanceados, dos líneas originales, dos materiales mejorados y tres poblaciones nativas. La determinación de los tipos de expresión fenotípica de plántulas de tallos TG y la evaluación de vigor, se hizo en invernadero y se utilizaron 100 semillas de cada línea. Los datos se analizaron bajo un diseño experimental Completamente al azar. A 15 días después de la siembra se hizo la evaluación. Las líneas con TG presentaron 81.3 % de emergencia y 51 % de TG. Se identificaron ocho tipos de expresión fenotípica en las líneas con el carácter TG, siendo el tipo A el que se presentó con mayor frecuencia (59.5 %). En las variables evaluadas que expresan vigor, los testigos fueron superiores a las líneas de TG. Las líneas de TG que reunieron características sobresalientes en longitud y biomasa de planta fueron: 2449, 2454, 2457, 2458, 2460 y 2472. Las expresiones fenotípicas identificadas en las plántulas con el carácter “tallos gemelos” son evidencias de mecanismos epigenéticos y son un buen modelo para estudios futuros de diversa índole.

**Palabras clave:** *Zea mays* L., mesocótilo, raíces fusionadas, epigenética.

## 5.2. INTRODUCCIÓN

El vigor es considerado un componente esencial del desarrollo de los cultivos, bajo una amplia gama de condiciones ambientales (Ludlow y Muchow, 1990). El vigor es la capacidad de la semilla sembrada, para emerger rápidamente y producir la mayor cantidad de materia seca en el menor tiempo y en diversos ambientes (Villaseñor, 1984); también es la suma de propiedades que determinan el nivel de actividad fisiológica – bioquímica en la semilla durante la germinación y emergencia de la plántula. En este sentido, las semillas de buen comportamiento se denominan de alto vigor y las de pobre comportamiento de bajo vigor (Santiago, 1988).

Las variaciones evidentes, asociadas con el vigor se presentan en: los procesos y reacciones bioquímicas durante la germinación, tales como la actividad respiratoria y reacciones enzimáticas; la velocidad y la uniformidad en la germinación de las semillas; la velocidad y uniformidad en la emergencia de las plántulas y su crecimiento en el campo y, la capacidad de emergencia de las semillas bajo condiciones desfavorables. Así mismo pueden ocurrir variaciones en el vigor por factores como: la constitución genética, las condiciones ambientales y la nutrición de la planta madre, el estado de madurez de las semillas a la cosecha, el tamaño, peso y densidad de la semilla, así como su condición física e integridad mecánica, el nivel de envejecimiento y la presencia de patógenos (Aristizábal y Álvarez, 2006).

Cuando la semilla se siembra en suelo húmedo absorbe agua y comienza a hincharse, un proceso que se hace más rápidamente en temperatura alta; bajo estas condiciones las semillas inician la germinación en un periodo de dos o tres días. En el invierno o en

condiciones de baja temperatura del suelo, como en las regiones templadas, el proceso se demora y la emergencia de la radícula puede ocurrir a los seis u ocho días. Cuando se inicia la germinación, la coleorriza se alarga y sale de la semilla a través del pericarpio; en seguida aparece la radícula atravesando la coleorriza. Inmediatamente después de la emergencia de la radícula también emergen tres o cuatro raíces seminales y, casi al mismo tiempo, la plúmula cubierta por el coleóptilo emerge hacia el extremo opuesto de la semilla. Entre el escutelo y la base del coleóptilo hay un entrenudo conocido como mesocótilo (el primero) mismo que juega un papel importante en la eficiencia para la emergencia de la plántula de maíz y tiene una gran plasticidad sobre la tasa de crecimiento y la longitud final de la plántula. El mesocótilo es el que empuja al coleóptilo hacia la superficie de la tierra. Una vez que el ápice del coleóptilo surge de la superficie del suelo, cesa el alargamiento del mesocótilo, emerge la plúmula al abrirse el coleóptilo y ésta queda expuesta a la radiación solar y comienza el proceso de la fotosíntesis de las primeras hojas (Paliwal *et al.*, 2001; Salisbury y Ross, 2002).

El término plántula denota el estadio más joven del esporofito y comprende desde la protrusión de la radícula hasta la total liberación de las estructuras protectoras (Flores, 1999). Heydecker (1960) indicó que el vigor de la plántula es la habilidad de ésta para emerger rápidamente del suelo.

En almendro, Martínez *et al.* (2005) en un trabajo realizado sobre caracterización de embriones múltiples, encontraron que las plántulas procedentes de semillas poliembriónicas mostraron un crecimiento menor y se desarrollaron en menor grado. Estas plántulas de bajo desarrollo (enanas) se caracterizaron por tener menos vigor, entrenudos cortos y hojas deformadas. No se encontró correlación entre la proporción

de la masa cotiledonar del embrión y su crecimiento; estas plántulas mostraron una mortandad de 90 %.

Espinoza *et al.* (1998) realizaron un trabajo en donde su propósito fue incrementar la frecuencia de “poliembriónía” en plantas de maíz de porte normal y braquítico. Lo que observaron fue que el incremento en “poliembriónía” parece limitar la germinación de las semillas al obtener valores promedio inferiores a 90 % en invernadero e inferiores a 60 % bajo siembra directa en campo.

Una plántula vigorosa tendrá mayor capacidad competitiva, esperando que dicha característica se refleje en el rendimiento (Delouche y Cadwell, 1962). Características como el porcentaje de germinación, la longitud de la parte aérea y el contenido de materia seca han sido señaladas como indicadores aceptables de vigor de la plántula (Acevedo *et al.*, 1971; Santiago, 1988).

### **5.2.1. OBJETIVO GENERAL**

Identificar los tipos de expresión fenotípica de las plántulas obtenidas en líneas con el carácter tallos gemelos y evaluar el vigor de estas líneas versus materiales genéticos que no poseen el carácter.

### **5.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar el porcentaje de germinación y la frecuencia de plántulas de tallos gemelos en cada línea.

Estudiar las características morfológicas de las plántulas obtenidas, así como cuantificar y describir los tipos de expresión de este fenómeno en las mismas líneas.

Evaluar el vigor de las plántulas de líneas de tallos gemelos versus materiales que no poseen este carácter.

Mediante variables morfológicas y de biomasa, evaluar el vigor de las plántulas de tallos gemelos y no gemelos en cada línea, así también con plántulas de líneas originales que no poseen el carácter.

### **5.2.3. HIPOTESIS**

Existe variación en la expresión fenotípica de plántulas que poseen el carácter de tallos gemelos.

El vigor de las plántulas de tallos gemelos provenientes de una sola semilla es similar al de una plántula de un solo tallo.

## **5.3 MATERIALES Y MÉTODOS**

### **5.3.1. Material Genético**

Se utilizó semilla de 26 líneas S<sub>5</sub> de maíz que poseen el carácter tallos gemelos (TG). Esta semilla se obtuvo a partir de aumentos con polinizaciones fraternales en el ciclo agrícola 2011 en Montecillo, Estado de México. Estas líneas fueron formadas al introducir por retrocruzamiento el carácter de gemelos a tres líneas élite normales (1040, 1041 y 1053) del programa de Fisiotecnia Vegetal, Genética- IREGEP-Colegio de Postgraduados.



Para este estudio las líneas se clasificaron en grupos con base en su línea original (1040G, 1041G y 1053G) y por la frecuencia de tallos gemelos (alta y baja). En las 26 líneas estudiadas se observó que el porcentaje de plantas con tallos gemelos (TG) aumentó con respecto al registro obtenido en el ciclo agrícola previo (Montecillo-2010). Por lo que se reclasificaron; así, una línea de alta frecuencia (AFG) fue aquella que tuvo más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) la que tuvo semillas que producen plantas con tallos gemelos menor a 45.5 % (Cuadro 1). Así, se tuvieron 14 líneas de alta frecuencia y 12 de baja frecuencia de tallos gemelos.

Como testigos se incluyeron dos de las tres líneas originales (1041Or y 1053Or); dos compuestos balanceados (CB): de tallos gemelos (CBG: este compuesto fue formado con mezcla de semillas de plantas de tallos gemelos) y no gemelo (CBNG: se formó con semilla de plantas no gemelas que poseen el carácter tallos gemelos); la semillas de los CB provienen de plantas de líneas de tallos gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinadas; dos materiales mejorados: H-San José y H-San Marcos de grano blanco y amarillo, respectivamente y tres poblaciones nativas: Chalco-352 y Oaxaca-394 (poblaciones de grano azul con alto contenido de proteína) y Huexotla (población de maíz local de grano blanco).

**Cuadro 1.** Grupos de líneas clasificadas por su línea original y por la frecuencia de tallos gemelos alta (AFG) y baja (BFG). Montecillo, Estado de México, 2011.

Líneas con el carácter tallos gemelos					
1040G		1041G		1053G	
Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia	Línea	Frecuencia
2446	AFG	2463	AFG	2470	AFG
2447	AFG	2464	AFG	2473	AFG
2449	AFG	2465	AFG	2471	BFG
2450	AFG	2466	AFG	2472	BFG
2451	AFG	2467	BFG		
2453	AFG	2468	BFG		
2454	AFG				
2460	AFG				
2448	BFG				
2452	BFG				
2455	BFG				
2456	BFG				
2457	BFG				
2458	BFG				
2459	BFG				
2461	BFG				

Una línea de alta frecuencia (AFG) fue aquella que tuvo más de 46 % de plantas con tallos gemelos y una de baja frecuencia (BFG) la que tuvo semillas que producen plantas con tallos gemelos menor a 45.5 %.

### 5.3.2. Manejo del experimento

Este estudio se realizó bajo invernadero en 2012, en las instalaciones del Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados. Para manejar eficientemente la toma de datos, la siembra de las semillas se realizó en diez fechas diferentes.

La siembra se hizo en charolas de plástico con 128 cavidades, el sustrato utilizado fue “peat moss”. Se establecieron 100 semillas por tratamiento y se depositó una semilla en

cada cavidad; se aplicó un riego diario por la mañana con una regadera manual durante los 15 días definidos para el crecimiento de las plántulas.

### **5.3.3. Diseño experimental**

El diseño experimental fue completamente al azar, con los datos obtenidos se compararon las plántulas que poseían el carácter de tallos gemelos contra las no gemelas y poblaciones normales (testigos). Para determinar si las plántulas de líneas con el carácter tallos gemelos presenta un comportamiento igual en vigor que los testigos.

### **5.3.4. Variables a evaluar:**

Al término del tiempo establecido para el crecimiento de las plántulas (15 días después de la siembra) se registraron las siguientes variables:

**Plántulas emergidas (%):** Se contó el número total de plántulas emergidas por línea y se dividió entre cien. Se consideró como plántula emergida a toda aquella en la que se observó emergencia de la plúmula; se tomó 100 % como máximo porcentaje de germinación.

**Plántulas de tallos gemelos (%):** Se obtuvo el porcentaje de plántulas de tallos gemelos con relación al total de plántulas emergidas. Se consideró como plántula de tallos gemelos a aquella que presentó dos o más tallos provenientes de una sola semilla.

**Fenotipo de plántulas de tallos gemelos:** se observaron, se tomaron fotografías y se clasificaron las plántulas por tipos, con base en su morfología.

**Expresión de Vigor:** a las plántulas de 15 días de edad de cada repetición se les midió:

**Altura de plántula (Ap):** Con una regla graduada (cm), se midió la parte aérea de cada plántula (desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la hoja más larga).

**Longitud de la radícula (Lr):** Se midió la longitud de la radícula en cm (con una regla graduada), desde el cuello hasta el ápice de ésta.

### **Biomasa de la plántula**

Se midió la cantidad total de materia seca producida por plántula a los 15 días de edad; para esta variable las plántulas no gemelas (de un solo tallo) y cada una de las de tallos gemelos se separaron en parte aérea, raíz y residuos del grano, los cuales se llevaron a peso constante, al desecarlas en una estufa a 60 °C, durante 72 h. El peso seco se obtuvo en una balanza analítica con precisión de milésimas de gramo, para conocer:

**Biomasa de la parte aérea (BPA):** se obtuvo el peso seco (mg) de la parte aérea (mesocótilo más plúmula) de cada plántula.

**Biomasa de la raíz (BR):** se tomó el peso seco (mg) del sistema radical (radícula, raíces seminales y adventicias).

**Biomasa total (BT):** Se obtuvo mediante la suma de la biomasa de la parte aérea y la biomasa de la raíz.

**Relación biomasa de la parte aérea/raíz (BPA/R):** Se obtuvo mediante el cociente de la biomasa aérea y la biomasa de la raíz. Las plántulas que produjeron la mayor cantidad de materia seca se consideraron como las de mayor vigor.

### **5.3.5. Análisis estadístico**

Para el análisis del porcentaje de emergencia y de plántulas de tallos gemelos se hicieron tablas de frecuencia, utilizando intervalos de porcentajes. Los resultados se presentan por el número de líneas, la frecuencia con respecto al total de líneas y por grupo de líneas.

Con los datos obtenidos de los diferentes genotipos evaluados se realizaron los análisis de varianza utilizando el programa GLM SAS (Statistical Analysis System) versión 9.0. De acuerdo al modelo estadístico Completamente al Azar. Se realizaron pruebas de comparación de medias Tukey ( $p \leq 0.05$ ) entre tratamientos, grupos de poblaciones y tipo de tallos por plántula (un solo tallo y tallos gemelos), para detectar diferencias entre tipos de plántulas (tallos gemelos y no gemelos y poblaciones normales).

## **5.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.4.1. Emergencia de plántulas**

En esta prueba, 13 de las 26 líneas estudiadas presentaron porcentajes de emergencia mayores a 85 %; es decir, 50 % de las líneas tuvieron altos porcentaje de emergencia. De estas 13 líneas, siete pertenecen al grupo 1040G, tres líneas (2446, 2454 y 2460) fueron de AFG y 4 (2455, 2456, 2457 y 2458) de BFG; 3 líneas fueron del grupo 1041G, la línea 2466 fue de AFG y las líneas 2467 y 2468, de BFG; otras tres líneas fueron del grupo 1053G, de las cuales dos (2470 y 2473) tuvieron AFG y una (2472) BFG (Cuadro 2).

En el intervalo de 70 a 84.5 % se ubicaron seis líneas: cinco que pertenecen al grupo 1040G y de éstas, tres líneas (2449, 2450 y 2453) fueron de AFG y dos (2458 y 2452) de BFG; del grupo 1053G, fue una línea (2471) y de BFG. Con menos de 70 % de emergencia se tuvieron siete líneas: cuatro se ubicaron en el grupo 1040G, tres líneas (2447, 2451 y 2461) fueron de AFG y una línea (2459) de BFG y del grupo 1041G, fueron tres líneas (2463, 2464 y 2465) de AFG (Cuadro 2).

Entre grupos, el mayor porcentaje de emergencia lo tuvo el grupo 1053G con 89 %, seguido del grupo 1040G con 79 % y el menor porcentaje lo registró el grupo 1041G con 76 %.

El promedio de emergencia en la evaluación realizada a las 26 líneas que presentan el carácter tallos gemelos, con respecto al número de semillas sembradas fue aceptable (81.3 %); esta prueba es importante ya que se relaciona directamente con el vigor de la semilla y la plántula.

La identificación de genotipos con alto porcentaje de germinación y emergencia puede mejorar el vigor de la plántula, el establecimiento en campo y la competitividad intra-específica (Willenborga, *et al.*, 2005).

Los testigos tuvieron más de 85 % de emergencia; las líneas originales 1041Or, 1053Or y el híbrido H-San Marcos obtuvieron 96 % y los compuestos balanceados de gemelos y no gemelos presentaron 92 y 88 %, respectivamente. El grupo de los testigos tuvo un promedio de 92 % de emergencia y de ellos, la población nativa de grano azul (Oaxaca-394) fue la de menor emergencia (84 %). En general todos los materiales presentaron

altos niveles de emergencia, lo que se relaciona con la buena calidad de semilla y alto vigor.

**Cuadro 2.** Frecuencia y número de líneas con el carácter tallos gemelos según el porcentaje de emergencia de plántulas crecidas en invernadero.

Emergencia (%)	Líneas		Grupo de líneas											
			Número						Frecuencia					
	No.	Frecuencia	1040		1041		1053		1040		1041		1053	
			AFG	BFG	AFG	BFG	AFG	BFG	AFG	BFG	AFG	BFG	AFG	BFG
> 85	13	0.50	3	4	1	2	2	1	0.19	0.25	0.17	0.33	0.50	0.25
70-84.5	6	0.23	3	2	0	0	0	1	0.19	0.12	0.0	0.00	0.0	0.25
<70	7	0.27	3	1	0	3	0	0	0.19	0.06	0.0	0.50	0.00	0.00
Total	26	1.00	9	7	1	5	2	2	0.57	0.43	0.17	0.83	0.50	0.50

AFG=Selección por alta frecuencia de plantas con tallos gemelos (> 46 %); BFG= Selección por baja frecuencia de plantas con tallos gemelos (< 45.5%).

#### 5.4.2. Plántulas con tallos gemelos

Se encontró que en el grupo 1040G se tuvieron ocho líneas con alta frecuencia de tallos gemelos (> 46 %): cuatro tuvieron más de 60 % (2449, 2450, 2451 y 2461); cinco líneas estuvieron con 46 a 59.5 % (2446, 2447, 2452, 2454 y 2457); en el intervalo de 35 a 45.5 % se encontraron seis líneas (2448, 2453, 2455, 2456, 2458 y 2459) y con menos de 34.5 % se registró la línea 2460. En el grupo 1041G, cinco líneas mostraron alto porcentaje de plantas con tallos gemelos: tres (2463, 2464 y 2468) con porcentaje superior a 60 %; dos (2465 y 2466) se presentaron en el intervalo de 46 a 59.5 % y una (2467) se ubicó en el porcentaje de menos de 34.5 %. Dentro del grupo 1053G, dos líneas observaron alta frecuencia: la línea 2470 con 65 % y la línea 2471 tuvo 56 % de plantas con tallos gemelos y con porcentaje menor a 34.5 % se registraron dos líneas (2472 y 2473) (Cuadro 3).

Las líneas con alta frecuencia de tallos gemelos aumentaron de 14 de AFG que se registraron en el ciclo de campo (Montecillo-11) a 16 líneas, bajo invernadero (Montecillo-12). Estas 16 líneas presentaron porcentajes mayores de 46 % de AFG y correspondió a 62 % del total de las líneas estudiadas; el 38 % restante de líneas tuvo porcentajes de plántulas con tallos gemelos menores a 45.5 % (BFG).

Por grupos, se encontró que el 1041G registró el mayor porcentaje de plántulas con tallos gemelos (61 %), seguido del grupo 1040G con 49 % y por último el grupo 1053G con 46 %. En los compuestos balanceados, el CBG presentó 54 % y el CBNG tuvo 48 % de plántulas con tallos gemelos. En promedio, las 26 líneas en estudio mostraron 51 % de plántulas con tallos gemelos; estos datos son significativamente mayores a los registrados por Pérez (2004) y fueron resultado de la evaluación de nuevas versiones de este germoplasma (familias de las mismas poblaciones con el carácter tallos gemelos de maíz para Valles Altos), en donde el porcentaje de semillas con dos o más embriones tuvo valores menores a 2 % del total de familias. Este porcentaje de plántulas con tallos gemelos es importante ya que se evidencia que mediante la selección y el avance de las generaciones se ha logrado aumentar la frecuencia de este carácter desde 2 % en las familias hasta 51 % en las nuevas líneas. Lo anteriormente señalado coincide con lo registrado por Espinoza *et al.* (1998) quienes mediante selección recurrente logró aumentar la frecuencia de “plantas gemelas” desde 1.5 % en la población original hasta 47 % en el sexto ciclo de selección. Como mencionan Erdelská y Vidovencová (1992) que la posibilidad de aumentar la frecuencia de semillas con dos embriones se logra mediante la selección continua en híbridos y en otros materiales.



**Cuadro 3.** Número y frecuencia de líneas con el carácter tallos gemelos, con respecto a la proporción de plántulas con tallos gemelos (%).

Intervalo*	Líneas con el carácter tallos gemelos							
	Número				Frecuencia			
	1040G	1041G	1053G	Total	1040	1041	1053	Total
>60	4	3	1	8	0.15	0.11	0.04	0.31
46-59.5	5	2	1	8	0.19	0.08	0.04	0.31
35 -45.5	6	0	0	6	0.23	0.00	0.00	0.23
<34.5	1	1	2	4	0.04	0.04	0.08	0.15
Total	16	6	4	26	0.61	0.23	0.16	1.00

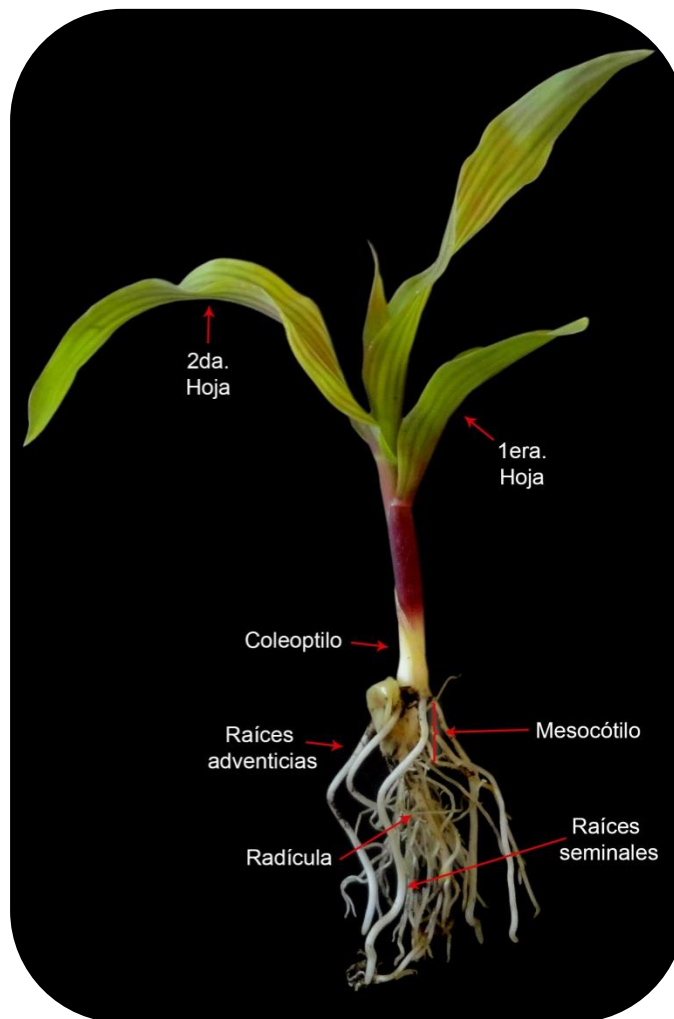
\*Intervalo de porcentaje de plántulas con tallos gemelos. AFG=Selección por alta frecuencia de plantas con tallos gemelos (> 46 %); BFG= Selección por baja frecuencia de plantas con tallos gemelos (< 45.5%).

#### 5.4.3. Expresión fenotípica en plántulas de líneas con el carácter tallos gemelos.

Mediante el recuento y clasificación de las plántulas de 15 días de edad, se identificaron formas diferentes de expresión fenotípica. Del total de plántulas crecidas en invernadero, a partir de las 26 líneas con el carácter de tallos gemelos, 49 % fueron de un solo tallo (plántulas no gemelas) y el otro 51 % fueron plántulas que presentaron tallos gemelos. Además de las plántulas de un solo tallo (plántula no gemela) se encontraron siete diferentes tipos de plántulas con el carácter tallos gemelos y son las siguientes:

## 1. Plántulas no gemelas

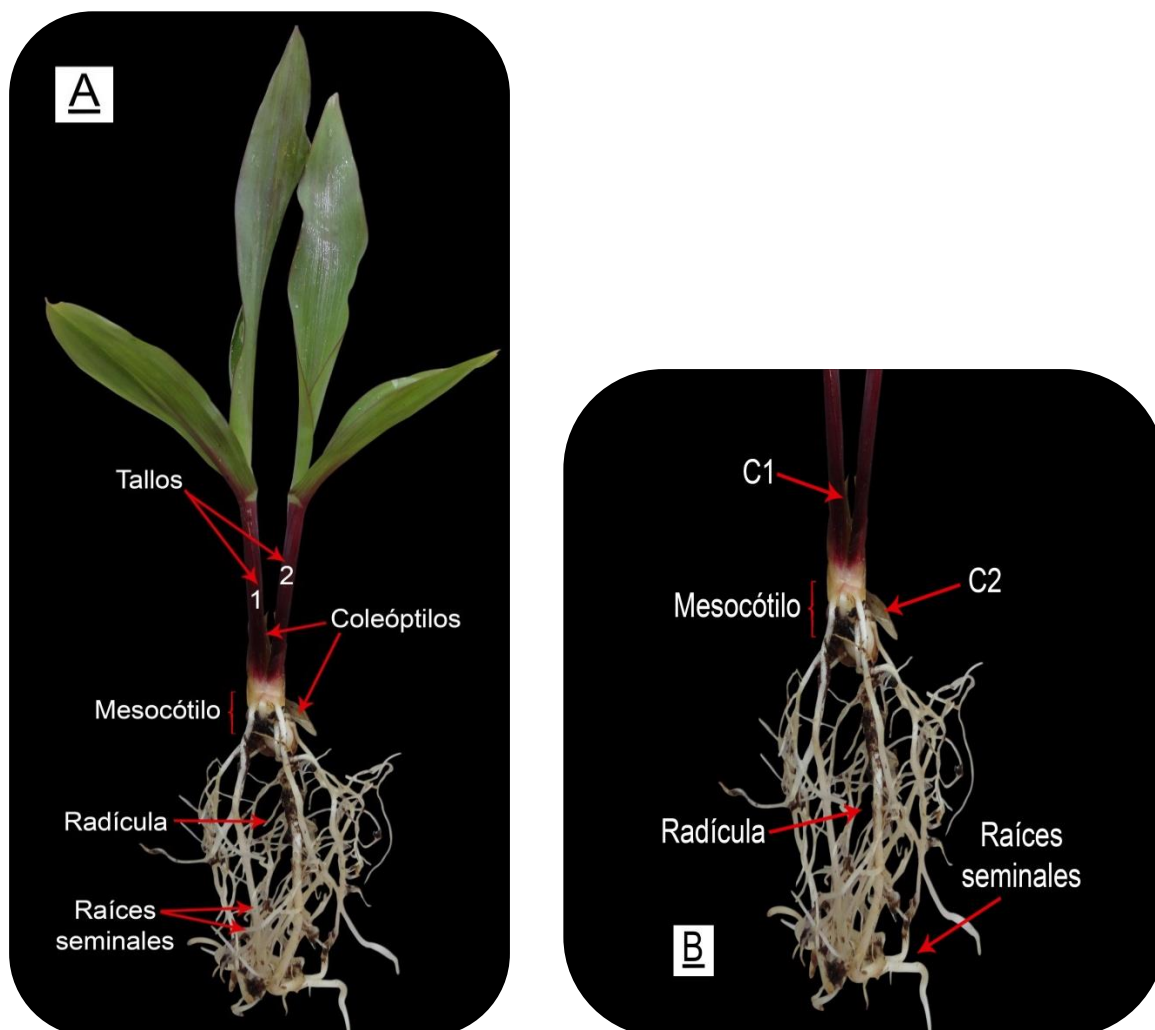
Esta plántula es de un solo tallo, muestra todas sus estructuras con morfología normal: radícula, raíces seminales, raíces adventicias, mesocótilo (largo y delgado), eje del tallo y coleóptilo (cubierta que protege a la plúmula durante la emergencia), también exhibe la primera y segunda hojas liguladas (Figura 1).



**Figura 1.** Plántula de maíz con expresión normal (un solo tallo), donde se muestran sus estructuras completas y con desarrollo normal.

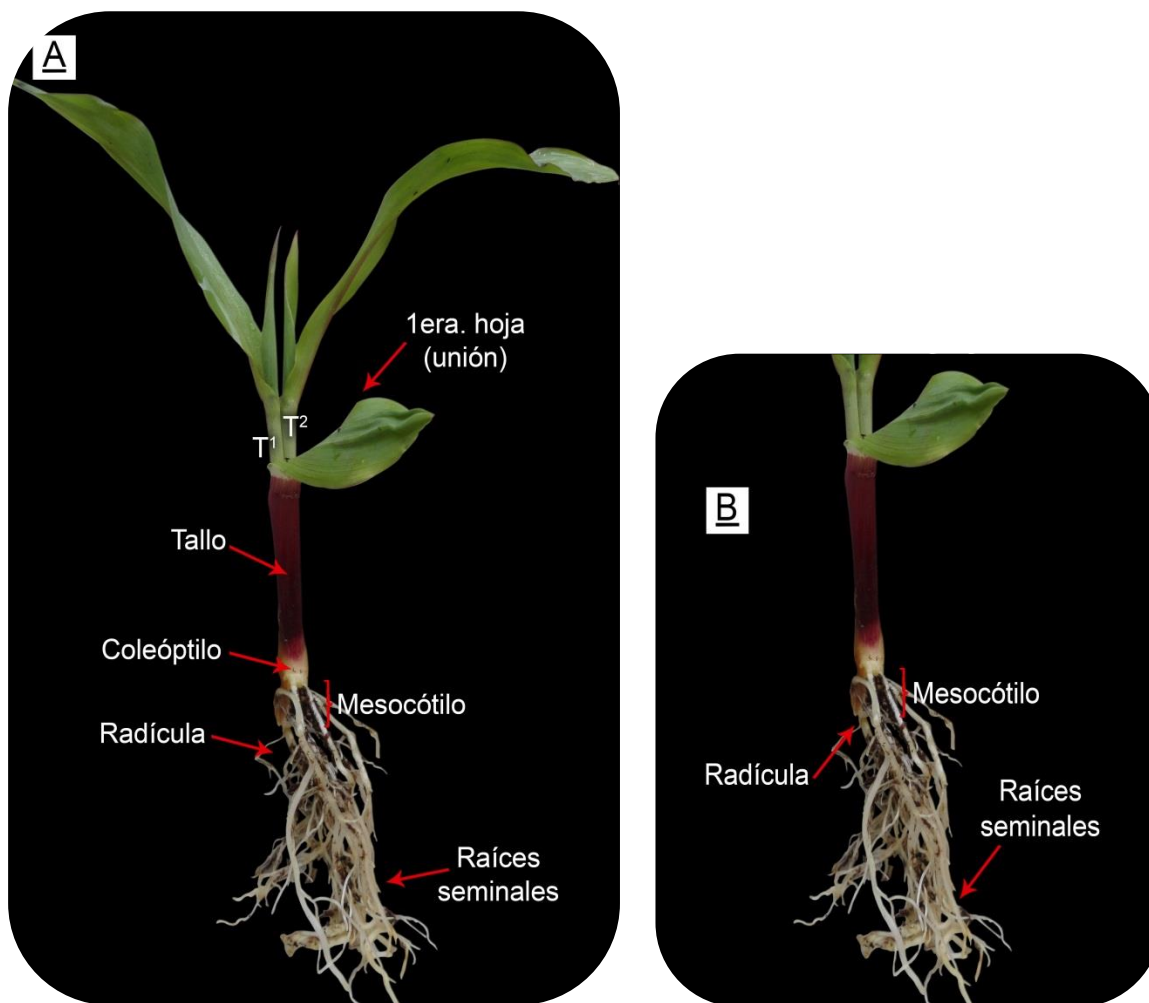
## 2. Plántulas gemelas.

**Tipo A:** Plántula con tallos gemelos que provienen de una semilla, presentan dos ejes de tallo con dos coleóptilos independientes, la bifurcación de los tallos se distingue a partir del nudo del coleóptilo (Figura 2 A). Ambos tallos comparten el mesocótilo (corto y grueso) y el sistema radical es completo, de apariencia normal y con una radícula (Figura 2 B). Este tipo de expresión se manifestó en 59.5 % de todas las plántulas con tallos gemelos mostradas en el estudio.



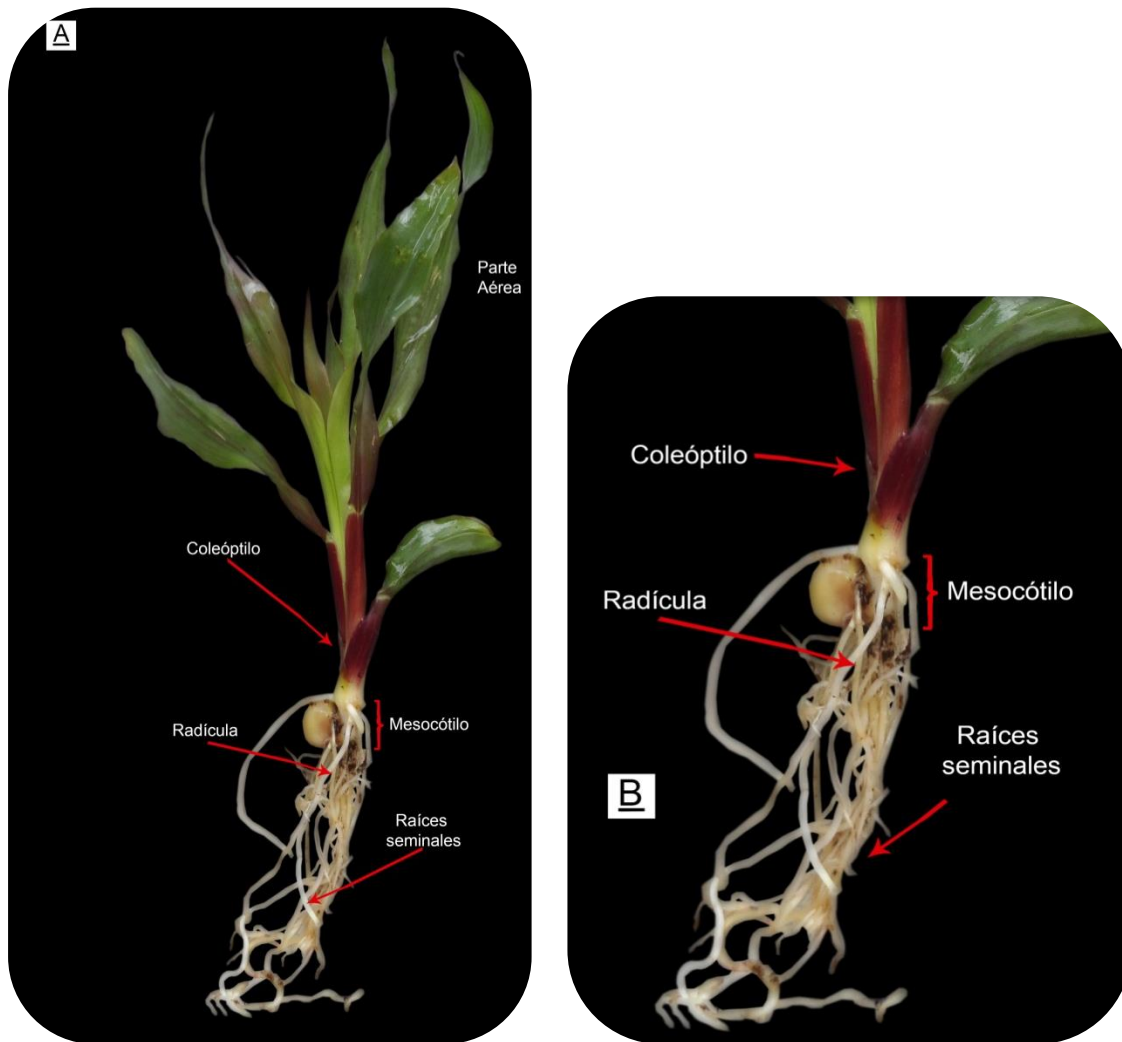
**Figura 2.** Crecimiento de plántula con tallos gemelos, con ejes y coleóptilos independientes y presentan un crecimiento normal en la parte aérea. Planta completa (A) y acercamiento del sistema radical (B), Tipo A.

**Tipo B.** Plántula con tallos gemelos fusionados; se encuentran compartiendo el sistema radical, así como el mesocótilo que es corto y grueso; el coleóptilo es normal, por lo que el eje se observa como un solo tallo hasta la primera hoja (se exhiben las dos hojas primarias unidas, dando la impresión de ser una sola) (Figura 3 B). A partir del entrenudo superior al nudo de la primera hoja se inicia la bifurcación del tallo (Figura 3 A). Este tipo de plántulas tuvo una frecuencia de 26 % del total de plántulas gemelas.



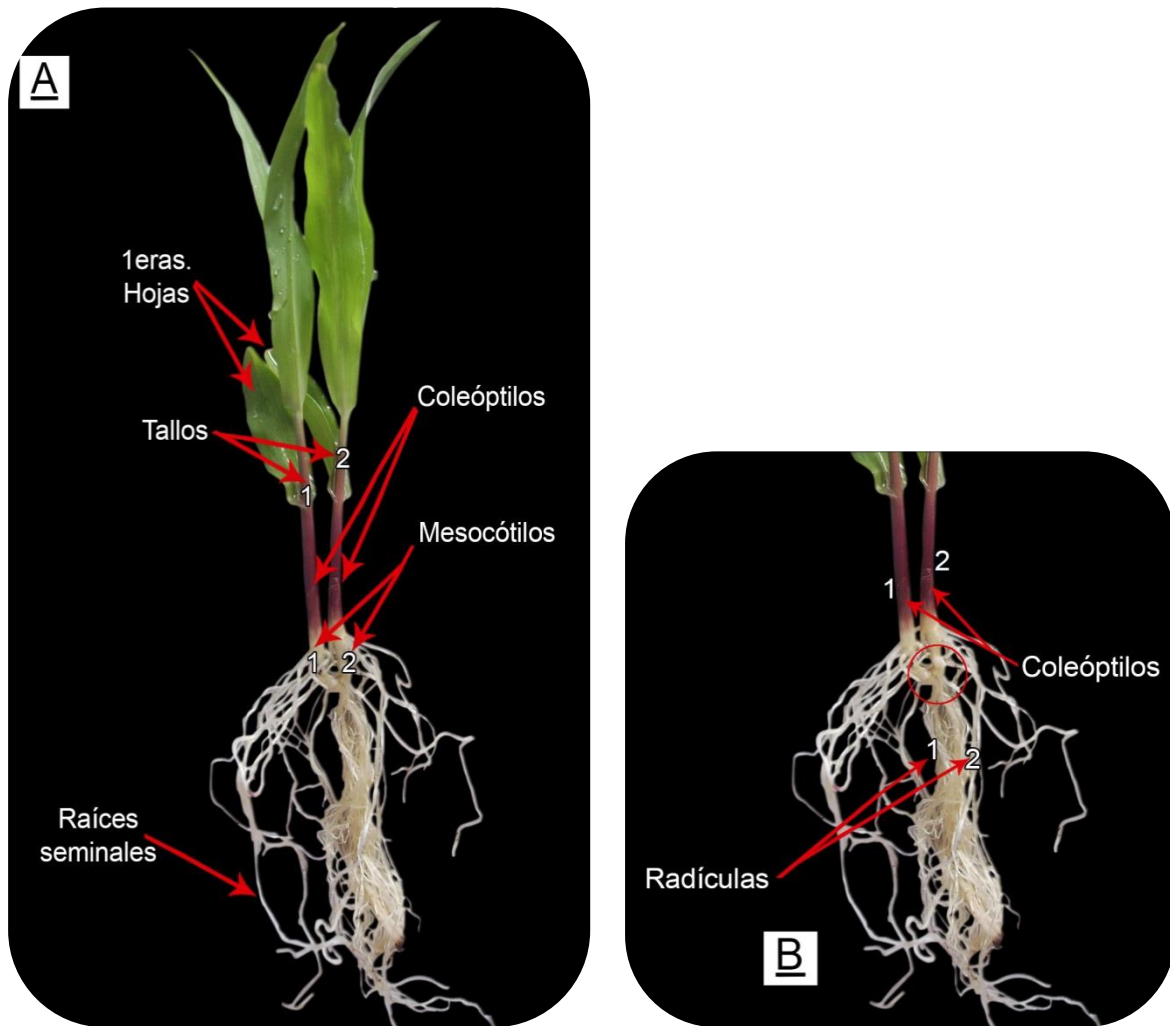
**Figura 3.** Plántulas que comparten radícula, mesocótilo, coleóptilo, presentan un solo tallo hasta que los ejes se bifurcan en el entrenudo superior a la primera hoja. Figura A planta completa y Figura B acercamiento del sistema radical, Tipo B.

**Tipo C:** Plántula con tallos gemelos que comparten una radícula, posee el mesocótilo (corto y grueso) y el coleóptilo normal; los ejes del tallo se separan a partir del entrenudo superior al nudo del coleóptilo y la parte aérea se expresa en forma de roseta (plántula braquítica) (Figura 4 A). Este tipo se manifestó en 12.1 % de todas las plántulas con tallos gemelos del estudio.



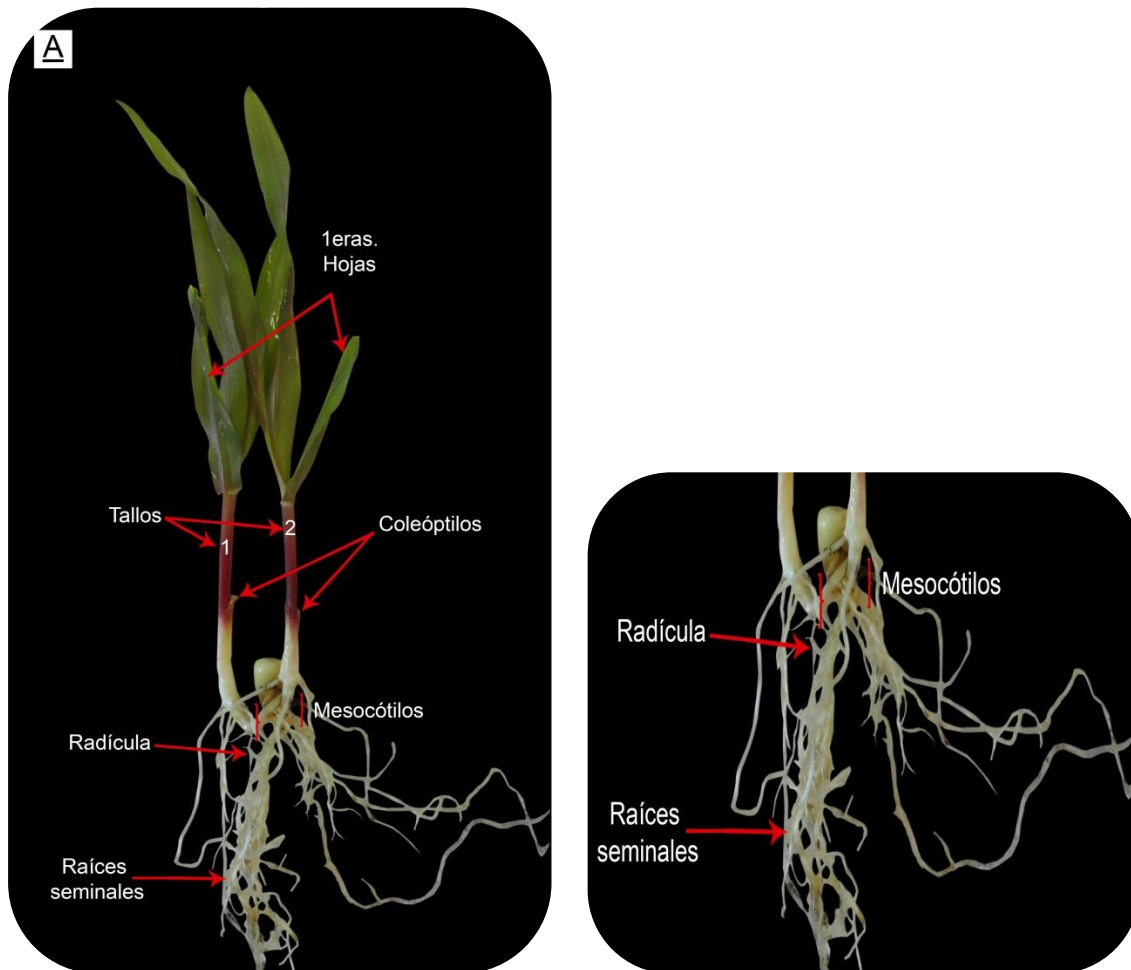
**Figura 4.** Plántulas de tallos gemelos con la parte aérea en forma de roseta o braquítica (A), que comparten el mismo mesocótilo, coleóptilo y radícula (B), Tipo C.

**Tipo D:** Plántulas con ejes de tallo independientes desde la germinación, el embrión se bifurcó también hacia el sistema radical, por lo que presentan dos radículas y sus correspondientes raíces seminales (Figura 5 A). Estas plántulas se encuentran unidas al nivel del nudo del escutelo (Figura 5 B). Sólo se observaron en 1.5 % de los casos.



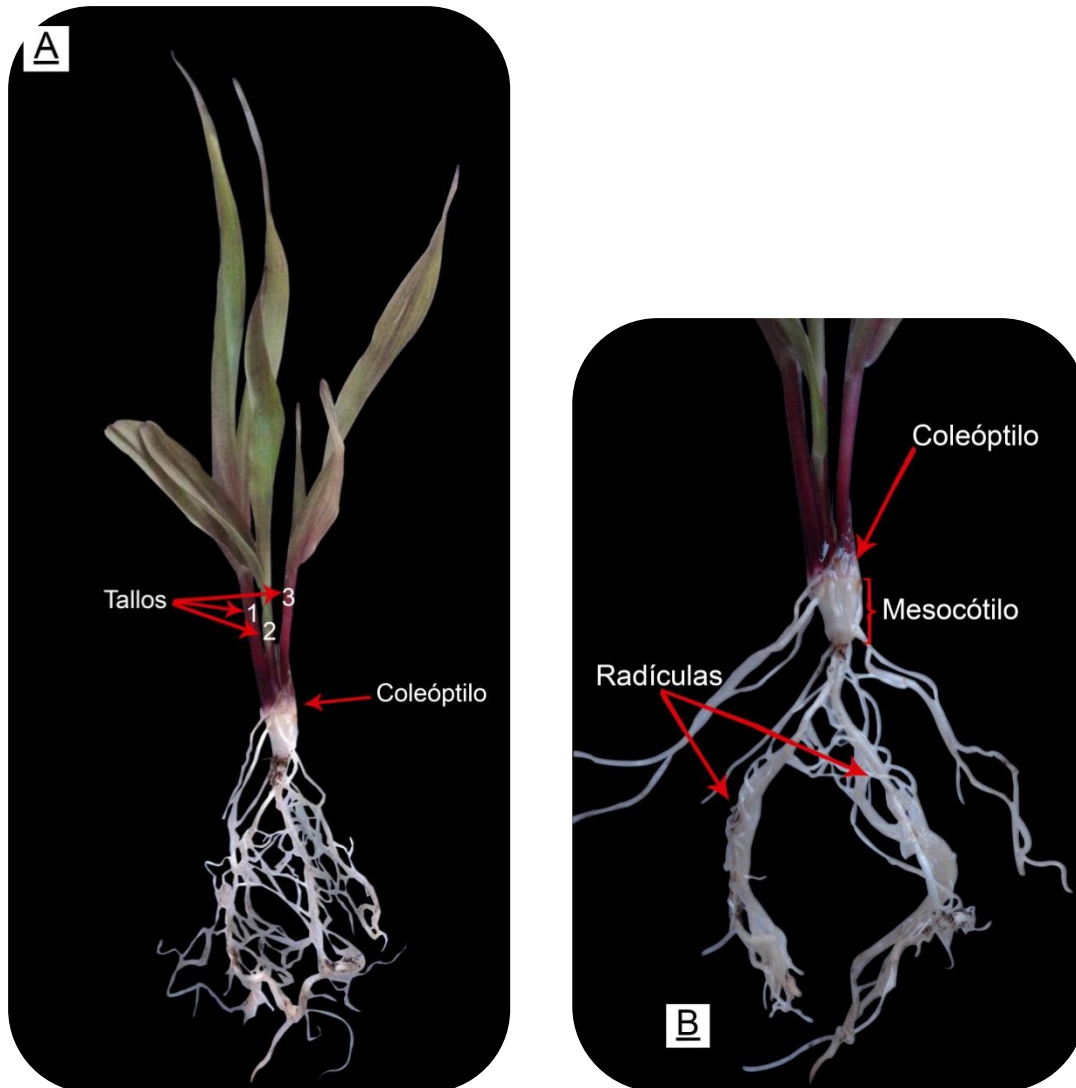
**Figura 5.** Plántulas con ejes de tallo independientes (A), presentan dos radículas fusionadas en el nudo escutelar. El círculo rojo indica el punto donde se unen las dos radículas (B), Tipo D.

**Tipo E:** Plántula con tallos gemelos independientes (poseen dos mesocótilos, dos coleóptilos y dos plúmulas) (Figura 6 A), pero comparten la misma radícula (Figura 6 B). Es posible que la diferenciación de los ejes independientes se haya dado en una etapa muy temprana del desarrollo del embrión. Del total de plántulas con tallos gemelos en la evaluación realizada a las 26 líneas, éstas se presentaron en 0.4 %.



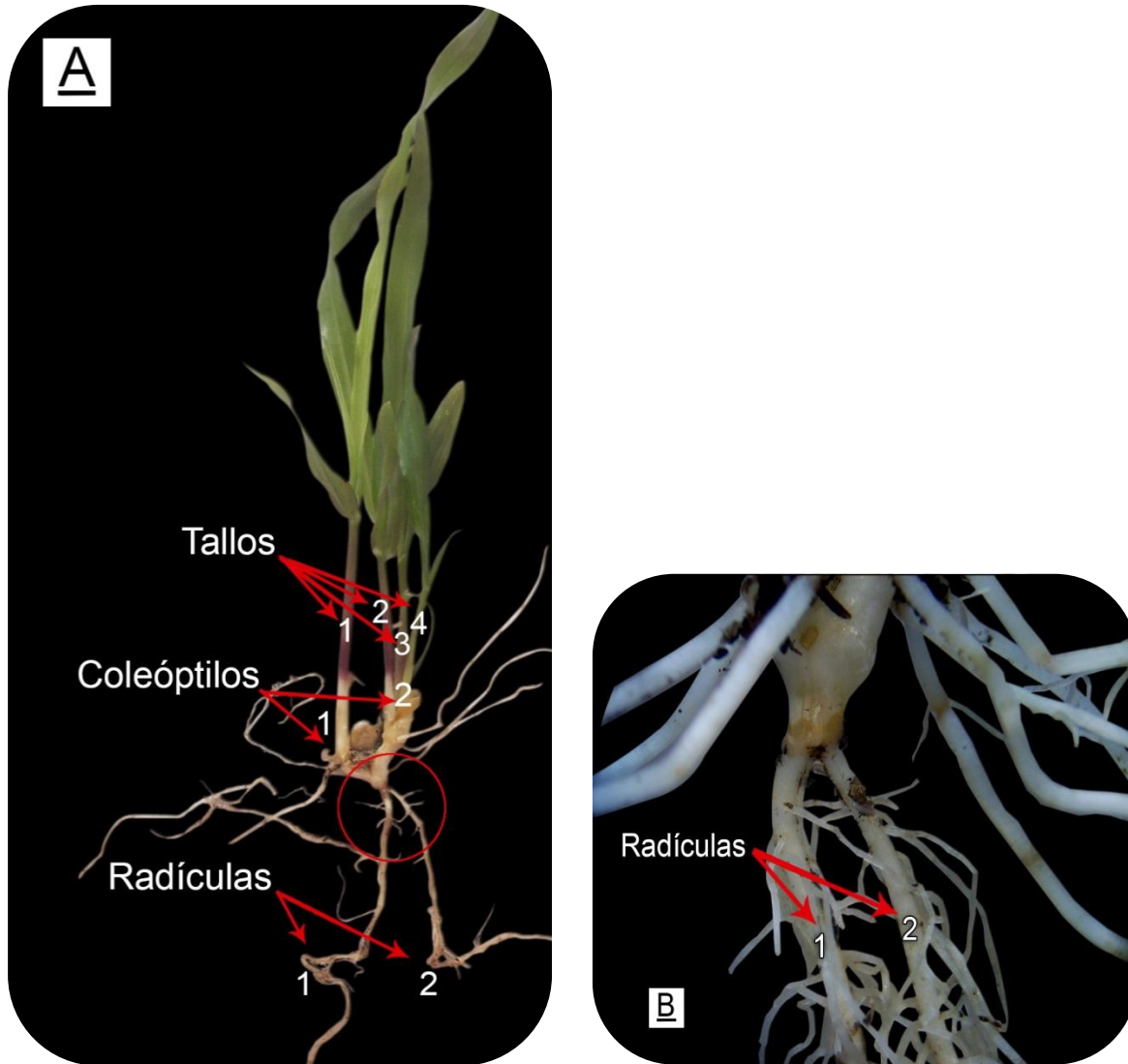
**Figura 6.** Plántulas de tallos gemelos con ejes aéreos independientes (A) que comparten la misma radícula y provienen de una semilla (B), Tipo E.

**Tipo F.** Plántulas con tres (Figura 7) y cuatro (Figura 8) tallos independientes, que comparten el mesocótilo (corto y grueso) y el coleóptilo normal, los tallos se separan a partir del nudo del coleóptilo y presentan dos radículas independientes. El porcentaje de este tipo de plántulas fue de 0.4 %.



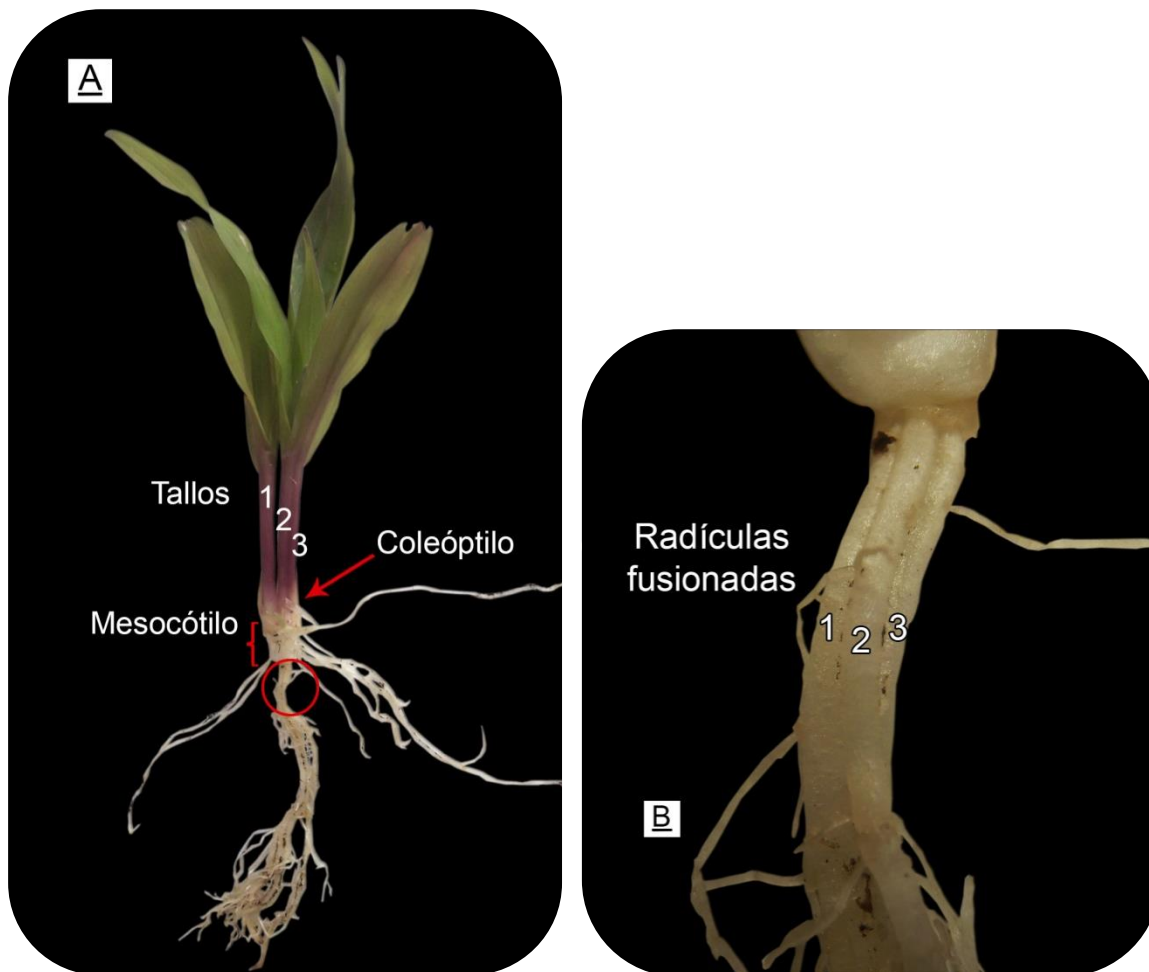
**Figura 7.** Plántula con tres tallos (plántula completa, A), que comparten mesocótilo, coleóptilo y se observan dos radículas (B), Tipo F.





**Figura 8.** Plántula completa que presenta cuatro tallos: un eje independiente desde el nudo escutelar y tres ejes que comparten el mesocótilo y el coleóptilo (A), muestra dos radículas independientes (B), Tipo F.

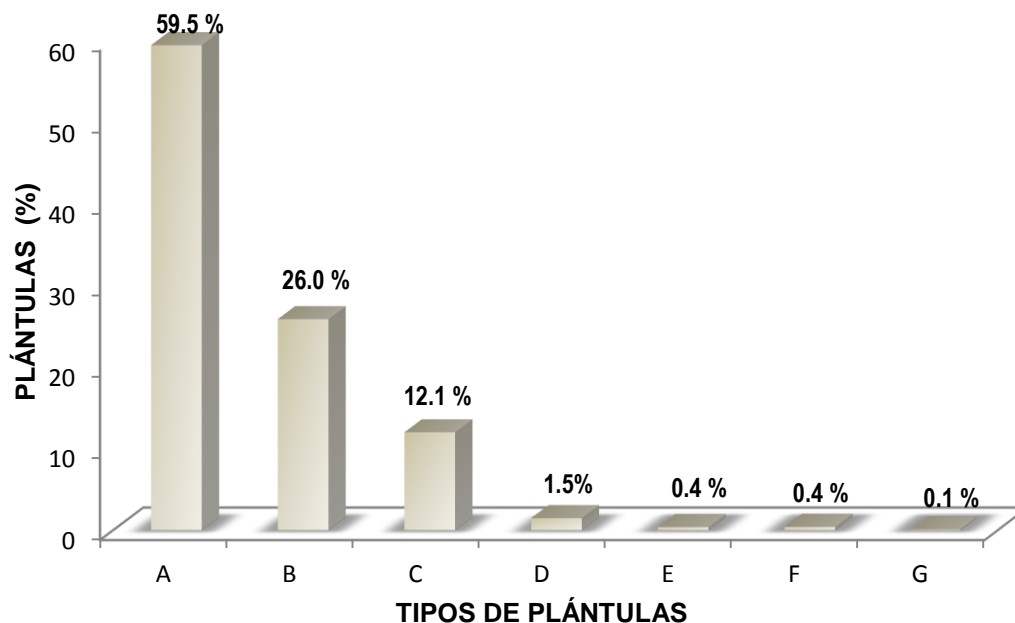
**Tipo G.** Plántulas con tres tallos independientes que comparten el mesocótilo (grueso) y el coleóptilo normal, la separación de éstos se inicia en el nudo del coleóptilo (Figura 9 A). También, exhiben tres radículas fusionadas desde su base (Figura 9 B). Este tipo de plántulas tuvo la menor presencia de todas (0.1 %).



**Figura 9.** Plántula de maíz que presenta tres tallos (A) y tres radículas fusionadas (B), Tipo G.

#### 5.4.4. Frecuencia de expresión fenotípica de plántulas con el carácter tallos gemelos en los grupos de líneas

En el grupo 1040G, 87 % de las líneas (14 líneas) que lo conforman mostraron porcentajes altos (de 50 a 83 %) de plántulas de tallos gemelos del Tipo A. Sólo dos líneas de este grupo (2447 y 2458), presentaron porcentajes de 50 % y 58 %, respectivamente, del tipo B. En el grupo 1041G, 50 % de sus líneas (2464, 2465 y 2468) fluctuaron entre 40 a 68 % de plántulas del tipo A y el 50 % restante presentaron el tipo B; es decir, las líneas: 2463, 2466 y 2467 tuvieron tallos gemelos tipo B en 47, 54 y 67 %, respectivamente. En el grupo 1053G, todas las líneas presentaron 54 a 78 % de las plántulas tipo A. En los compuestos balanceados, la forma de expresión que más se presentó fue el tipo A; el CBG tuvo 74 % y el CBNG 83.3 % de este tipo (Cuadro 4).



**Figura 10.** Porcentaje de expresión de los tipos de plántulas de tallos gemelos de 26 líneas de maíz con este carácter.

Así, del total de plántulas con tallos gemelos obtenidas en las 26 líneas estudiadas, el tipo de expresión que más se presentó (59.5 %) fue el tipo A, seguido del tipo B con 26 %; el tipo C con 12.1 %; el tipo D con 1.5 %; el tipo E con 0.4 %; el tipo F tuvo 0.4 % y el tipo G sólo 0.1 % (Figura 10). Es importante mencionar que en el grupo 1041G, el tipo D se presentó con mayor frecuencia y los tipos F y G sólo se manifestaron en este grupo. El tipo E fue exclusivo del grupo 1040G (Cuadro 4).

En la mayoría de los tipos de plántulas con tallos gemelos se observó la presencia de mesocótilos cortos y gruesos, lo que significa que poseen entrenudos cortos, a diferencia de las plántulas de un solo tallo (no gemelas) que tienen entrenudos más largos y fenotípicamente se muestran como plántulas de apariencia normal. Esto es debido a la unión de los dos tallos que ocasionan la apariencia de un tallo braquiblastico; es decir, de tallo corto y grueso. Pérez (2004) identificó dos tipos de plántulas provenientes de una sola semilla y sus descripciones coinciden con el tipo normal (no gemela) y el tipo A; con dos tallos gemelos por semilla, aunque éstas a su vez las clasificó en: a) plántulas de dos ejes envueltos en un solo coleóptilo y b) plántulas de dos ejes totalmente independientes, que comparten el mesocótilo y el sistema radical. La frecuencia de plántulas con dos o más radículas en las 26 líneas estudiadas fue menor al 1 %, esto difiere a lo registrado por Espinoza *et al.* (2012) quienes mencionan que la frecuencia promedio de radículas múltiples en sus genotipos poliembriónicos fue de 14%.

De las diferentes expresiones fenotípicas encontradas en las plántulas de las líneas de tallos gemelos estudiadas, pareciera ser que todas tienen su origen en un solo embrión, proveniente de la fusión de gametos; esto hace suponer que en estos materiales genéticos ocurren cambios en diferentes etapas del desarrollo del embrión sexual, que

dan como resultado las expresiones fenotípicas de las plántulas aquí descritas y, por la morfología de las mismas, se considera que no se trata de embriones originados de tejido somático o de reproducción asexual. Por su parte, Erdelská (1996), al estudiar con análisis histológicos la poliembrionía en maíz, señala tres principales tipos de expresión: 1. Embriones gemelos originados de varios sacos embrionarios, generalmente localizados en lados opuestos o lugares distantes de la semilla, no tienen tejidos comunes y la germinación es independiente. 2. Embriones gemelos o trillizos formados a partir de células individuales originadas de la ovocélula o de varios óvulos estrechamente unidos pero separados por capas epidérmicas; presentan el endospermo en común y las plúmulas y radículas son independientes, y 3. Poliembrionía ocasionada por división celular del embrión temprano, puede ser espontánea o inducida, los embriones comparten un suspensor común, parte del escutelo y las capas superficiales de la radícula, por lo que al germinar la semilla, la plántula presenta un complejo radicular y plúmulas separadas. Del análisis de las plántulas con tallos gemelos del presente estudio, todas coinciden con el tipo 3 de la clasificación propuesta por Erdelská (1996), específicamente los tipos A, C, D, E y G. Estos tipos manifestaron las características en común de los dos ejes independientes (plúmulas separadas) y un solo sistema radical.

Los análisis histológicos permiten distinguir los diferentes tipos de poliembrionía en las semillas de maíz, y se pueden relacionar con el origen de plántulas gemelas o trillizas. Estas diferencias cruciales tienen que ver con la ubicación de los embriones en la semilla y en la estructura de los embriones, principalmente en presencia o ausencia de algunos tejidos o células comunes y en el tipo de germinación (Erdelská, 1996).

Para la obtención de las líneas en estudio se realizaron autofecundaciones y aumentos de cruzas fraternales, con semilla de plantas con tallos gemelos; sin embargo, siempre segregan plántulas normales (de un tallo, 49 % en promedio) y con tallos gemelos (51 % en promedio), lo cual demuestra que en estas líneas de maíz no hay mutaciones en su ADN. Gottschling (2007) define el fenómeno epigenético como un cambio en el fenotipo, que es hereditario, pero no involucra mutación en el ADN; por lo tanto, las diferentes expresiones fenotípicas identificadas en las plántulas de las líneas con el carácter “tallos gemelos” son evidencias de mecanismos epigenéticos, ya que no todas las plántulas provenientes de las semillas de las líneas con el carácter de tallos gemelos manifiestan el carácter. Se propone que el carácter “tallos gemelos” puede considerarse un buen modelo para estudios epigenéticos futuros, de diversa índole.

**Cuadro 4.** Variación morfológica de plántulas de tallos gemelos y porcentaje en que se presentan los diferentes tipos de expresión en cada una de las líneas con el carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

Grupo	Línea	Tipo de plántula de tallo gemelo						
		A	B	C	D	E	F	G
1040G	2446	66.0	14.0	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2447	38.9	50.0	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2448	66.7	22.2	11.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2449	81.7	3.3	13.3	1.7	0.0	0.0	0.0
1040G	2450	83.0	10.6	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2451	58.5	24.4	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2452	72.7	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2453	69.2	30.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2454	67.3	20.0	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2455	52.9	29.4	17.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2456	67.7	16.1	16.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2457	51.1	10.6	34.0	2.1	2.1	0.0	0.0
1040G	2458	34.2	57.9	5.3	0.0	2.6	0.0	0.0
1040G	2459	50.0	43.8	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2460	68.8	31.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1040G	2461	56.4	33.3	0.0	5.1	5.1	0.0	0.0
1041G	2463	26.7	53.3	15.6	2.2	0.0	2.2	0.0
1041G	2464	67.9	25.0	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1041G	2465	54.2	45.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1041G	2466	25.5	47.1	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1041G	2467	33.3	66.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1041G	2468	40.5	21.6	10.8	24.3	0.0	0.0	2.7
1053G	2470	76.7	6.7	13.3	3.3	0.0	0.0	0.0
1053G	2471	54.5	27.3	13.6	4.5	0.0	0.0	0.0
1053G	2472	69.0	24.1	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1053G	2473	53.6	32.1	14.3	0.0	0.0	0.0	0.0
CBalanceado	CBGEM*	74.0	14.0	8.0	4.0	0.0	0.0	0.0
CBalanceado	CBNOGEM*	83.3	14.3	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0

‡ Los compuestos balanceados de gemelos (CBG) y no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinados. Plántulas con TG: **Tipo A:** plántulas con dos ejes, comparten el mesocótilo y la radícula. **Tipo B:** Plántula con TG fusionados que comparten la radícula, el mesocótilo y el coleóptilo. **Tipo C:** plántulas TG que comparten la radícula, el mesocótilo y el coleóptilo y la parte aérea en forma de roseta. **Tipo D:** plántulas con ejes independientes con dos radículas. **Tipo E:** plántulas con ejes aéreos independientes (2) y una radícula. **Tipo F:** plántulas con tres y cuatro tallos independientes, comparten mesocótilo y coleóptilo, presentan dos radículas. **Tipo G:** plántula con tres tallos independientes y radículas fusionadas.

### 5.4.5. Expresión de Vigor

En los análisis de varianza se encontraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) entre tratamientos (genotipos) y entre grupos de poblaciones en todas las variables de expresión de vigor evaluadas (Cuadros 5 y 6).

**Cuadro 5.** Valores de los cuadrados medios de las variables de expresión de vigor en plántulas de maíz de los diferentes genotipos evaluados, Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.

FV	GL	Longitud			Biomasa			Relación Biomasa
		Parte aérea	Raíz	Total	Parte aérea	Raíz	Total	P Aérea/Raíz
Trat	34	85.21**	14.32**	129.75**	4031.33**	5006.8**	15750.5**	1.04**
Error	315	1.4	1.9	3.6	89.1	99.6	308.7	0.0
CV (%)		8.4	20.4	9.2	13.3	16.4	13.3	13.3

**Cuadro 6.** Valores de los cuadrados medios de las variables de expresión de vigor en plántulas de los grupos de poblaciones con tallos gemelos y no gemelos, Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.

FV	GL	Longitud			Biomasa			Relación Biomasa
		Parte aérea	Raíz	Total	Parte aérea	Raíz	Total	P Aérea/Raíz
Grupos	11	126.75**	19.74**	209.6**	5726.29**	11192.18**	30302.47**	1.5**
Error	338	5.7	2.6	9.6	302.2	232.2	885.9	0.08
CV (%)		17.2	23.7	14.9	24.5	25.0	22.5	22.4

### Longitud de la parte aérea

En la prueba de medias Tukey, de las 26 líneas que poseen el carácter de tallos gemelos, 11.5 % (tres líneas: 2454, 2457 y 2458 del grupo 1040G) tuvieron más de 18



cm en la parte aérea; 30.8 % (ocho líneas: 2448, 2450, 2455, 2456, 2459 y 2460, del grupo 1040G y 2472 y 2473 del 1041G) se ubicaron en el intervalo de 13 a 16.5 cm y el 57.6 % restante presentaron longitudes menores a 12.9 cm. La línea que menor longitud de plántula presentó fue la línea 2463 del grupo 1041G (Cuadro 7). Entre grupos de líneas con el carácter tallos gemelos (Cuadro 9), el 1040G fue el que presentó mayor longitud en la parte aérea y fue 18.2 % mayor que el 1041G y 4.4 % más que el 1053G.

Entre los testigos, la línea original 1053Or y el maíz nativo Huexotla fueron los que presentaron la mayor longitud de la parte aérea, mayor a 19 cm. La línea 1053 Or fue 11.5 % más grande que la línea 1041Or, 32 % más que los grupos de líneas gemelas (1040G, 1041G y 1053G) y 20.4 % más que los compuestos balanceados (CBG Y CBNG). El compuesto balanceado de tallos gemelos presentó 12.8 % más longitud que el compuesto balanceado de tallos no gemelos y 20.2 % más que los grupos de líneas de tallos gemelos. Los maíces nativos y mejorados presentaron un intervalo de longitud de la parte aérea que osciló entre 15.6 y 19.4 cm (Cuadro 9). En promedio, la longitud de la parte aérea de las plántulas de las líneas con el carácter tallos gemelos fue de 13 cm y de los testigos fue de 16.7 cm. Por lo que considerando esta variable, los testigos fueron más vigorosos, mostraron 22.2 % mayor longitud que los grupos de líneas de tallos gemelos y 9 % más que los compuestos balanceados. La disminución en la longitud de la parte aérea en las líneas de gemelos, fue influenciada por la presencia de dos ejes de tallo por semilla, pues las reservas de la semilla fueron distribuidas en las dos plántulas y no en una, como sucedió en los testigos.

## **Longitud de la radícula**

En la prueba de medias (Tukey), se encontró que 11.5 % de las líneas (tres líneas: 2458 y 2460 del grupo 1040G y 2473 del grupo 1053G) presentaron intervalos de longitud de radícula de 8 a 9.2 cm; 57.7 % (15 líneas: 2448, 2450, 2451, 2452, 2453, 2456, 2459 y 2461 del grupo 1040G; 2464, 2465, 2466 y 2468 del grupo 1041G y 2470, 2471 y 2472 del grupo 1053G) registraron un intervalo de 6 a 7.9 cm y el 30.7 % restante (ocho líneas: 2446, 2447, 2449, 2454, 2455 y 2457 del grupo 1040G; 2463 y 2467 del grupo 1041G) presentaron longitudes menores a 5.9 cm. La línea 2457 del grupo 1040G fue la de menor longitud de radícula (5.2 cm) (Cuadro 7).

Entre grupos de líneas con el carácter tallos gemelos, 1053G fue el que presentó mayor longitud de radícula, fue 11 % mayor que el grupo 1040G y 13.8 % mayor que el 1041G. El promedio de longitud de radícula de los grupos fue de 6.7 cm (Cuadro 9). Es importante seleccionar genotipos que presenten la mayor longitud de la radícula ya que en plántulas es una variable que correlaciona significativamente con su vigor (Rodríguez y Leihner, 2005).

Entre los testigos, las líneas originales (1041Or y 1053Or) no fueron diferentes entre sí. La línea 1041Or presentó 22.5 % mayor longitud de radícula que el grupo de líneas 1041G y 1053Or, tuvo 2.8 % más longitud de radícula que el grupo 1053G. En promedio las líneas originales registraron 14.2 % más longitud de radícula que los grupos de líneas con tallos gemelos y 15 % más que los compuestos balanceados. Los compuestos balanceados mostraron similar longitud de radícula que los grupos de líneas de tallos gemelos.

De los testigos, el maíz nativo de grano azul (Chalco- 352) fue el de mayor longitud de radícula, con 9.9 cm. En promedio, los testigos presentaron mayores longitudes de radícula (8.2 cm) y tuvieron 19.7 % más, al compararlos con los grupos de líneas de tallos gemelos. Por lo que los testigos fueron más vigorosos que las líneas gemelas.

### **Longitud total de plántula**

De la prueba de medias Tukey se observa que de las 26 líneas con el carácter tallos gemelos, 27 % (siete líneas: 2454, 2456, 2457, 2458, 2459 y 2460 del grupo 1040G y la 2473 del 1053G) presentaron la mayor longitud de plántula (20 cm) y 73 % de las líneas restantes registraron longitudes menores a 19.9 cm. La línea que presentó la mayor longitud fue 2458 (27.3 cm) del grupo 1040G y la de menor longitud fue 2463 (15.8 cm) que pertenece al grupo 1041G (Cuadro 7).

De los grupos de líneas con tallos gemelos, 1040G y 1053G presentaron la mayor longitud de plántula y fueron 14 % mayores que el grupo 1041G. En promedio, los grupos de gemelos presentaron 19.5 cm de longitud total de plántula (Cuadro 9).

Con respecto a los testigos, la línea original 1053Or y el maíz nativo Huexotla fueron los que registraron la mayor longitud total de plántula. La línea 1053Or tuvo 23.4 % más longitud de plántula que el grupo 1053G y 6 % más que la línea 1041Or. La línea 1041Or fue 30 % superior al grupo 1041G. En lo que se refiere a los compuestos balanceados, el CBG tuvo 12 % más longitud de plántula que el CBNG, y éstos a su vez fueron 10.5 % más grandes que las plántulas de los grupos de líneas de tallos gemelos. En promedio las líneas originales mostraron mayor longitud total de plántulas, fueron 24 % superiores a los grupos de líneas de gemelos y 15.2 % más que los

compuestos balanceados. Los maíces nativos y mejorados, en longitud total de plántula, presentaron en promedio 25.6 cm y 23.9 cm, respectivamente y mostraron mayor vigor que las líneas gemelas (Cuadro 9).

**Cuadro 7.** Valores medios de variables de expresión de vigor de las plántulas de líneas con tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

No.	Línea	Grupo	Longitud		
			Parte aérea (cm)	Radícula (cm)	Total de Plántula (cm)
1	2458	1040G	18.7 a	8.6 b	27.3 a
2	2460	1040G	16.2 b	9.2 a	25.4 b
3	2454	1040G	19.1 a	5.7 h	24.6 c
4	2457	1040G	19.1 a	5.4 i	24.5 c
5	2473	1053G	14.6 c	8.7 b	23.3 d
6	2459	1040G	13.6 d	7.4 e	21.0 e
7	2456	1040G	13.9 d	6.3 f	20.2 f
8	2470	1053G	12.4 h	7.6 d	19.9 g
9	2448	1040G	13.4 e	6.4 f	19.8 g
10	2472	1053G	13.5 d	6.0 f	19.6 h
11	2461	1040G	11.8 i	7.7 c	19.5 i
12	2466	1041G	12.9 g	6.2 f	19.1 j
13	2450	1040G	12.3 f	6.1 f	19.1 j
14	2455	1040G	13.8 d	5.1 i	18.9 k
15	2468	1041G	11.9 i	6.8 f	18.7 l
16	2471	1053G	11.8 i	6.5 f	18.3 m
17	2446	1040G	12.3 h	5.6 i	17.8 m
18	2467	1041G	11.6 j	5.9 g	17.5 n
19	2452	1040G	10.9 k	6.1 f	17.2 o
20	2465	1041G	10.3 l	6.8 f	17.1 p
21	2453	1040G	10.7 k	6.1 f	16.9 q
22	2449	1040G	11.3 k	5.3 i	16.6 r
23	2451	1040G	10.4 l	6.1 f	16.5 r
24	2464	1041G	10.0 m	6.2 f	16.3 s
25	2447	1040G	10.5 l	5.6 i	16.1 t
26	2463	1041G	10.3 l	5.6 i	15.8 t
	Promedio		13.0	6.5	19.5

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

## **Biomasa de la parte aérea**

De las 26 líneas con carácter de tallos gemelos, 19.2 % (cinco líneas del grupo 1040G: 2449, 2454, 2457, 2458 y 2460) presentaron pesos de la parte aérea superiores a 80 mg; 42.3 % (ocho líneas: 2446, 2450, 2451, 2455, 2456, 2459, 2461, 2466 del grupo 1040G y tres líneas 2470, 2472 y 2473 de 1053G) se ubicaron en el intervalo de 60 a 79 mg y el 38.5 % restante de líneas (10 líneas) registraron pesos menores a 59.9 mg. La línea 2458 fue la de mayor peso en la parte aérea (110.4 mg) y la 2447 la de menor peso, con 33.7 mg (Cuadro 8).

De los grupos de líneas con tallos gemelos, 1040G fue el que tuvo mayor biomasa en la parte aérea, presentó 25.5 % más peso que el grupo 1041G y 4.3 % más que 1053G. En promedio los grupos de líneas gemelas presentaron 65 mg de biomasa en la parte aérea (Cuadro 9).

En la comparación de medias (Tukey), para las líneas originales estas presentaron diferencias entre sí, 1053Or registró la mayor biomasa en la parte aérea, fue 8.5 % mayor que la línea 1041Or. Al compararlas con sus respectivos grupos de líneas de gemelos, 1053Or tuvo 34.2 % más peso que el grupo 1053G y 1041Or fue 44 % mayor que 1041G. Con respecto a los compuestos balanceados, el CBG tuvo 30.6 % más peso que CBNG. En promedio, las líneas originales presentaron 32.9 % más peso que los grupos de líneas gemelas y 17.3 % más que los compuestos balanceados. Los compuestos balanceados fueron 18.8 % superiores a los grupos de líneas gemelas. Del grupo de testigos, la línea original 1053Or y el maíz mejorado H-San José fueron los que tuvieron más biomasa en la parte aérea (Cuadro 9).

## **Biomasa radical**

Se observa (Cuadro 8) que 8 % (dos líneas) de las 26 que tienen el carácter de tallos gemelos presentaron pesos de raíz mayores a 70 mg. Estas líneas fueron: 2451 (del grupo 1040G) y 2472 (del grupo 1053G). El 23 % (seis líneas: 2448 2450, 2459, y 2460 del grupo 1040G y 2473 del 1053G) presentaron biomasa entre 60 a 69.5 mg y el 69 % restante tuvieron pesos de raíz menores a 59.5 mg.

Entre los grupos de líneas con tallos gemelos se encontraron diferencias significativas, el grupo 1053G registró 25.1 % más biomasa que 1041G y 18.3 % más que el grupo 1040G (Cuadro 9). Las líneas originales mostraron diferencias significativas entre sí, la 1053Or presentó 5.1 % más biomasa que la 1041Or; al comparar cada línea original con su respectivo grupo de líneas de tallos gemelos 1053Or registró 40 % más peso de raíz que el grupo 1053G. La línea 1041Or registró 52.3 % más biomasa que el grupo 1041G. De los compuestos balanceados, el CBG tuvo 22.2 % más biomasa de raíz que el CBNG. En promedio, los grupos de líneas con tallos gemelos presentaron 51.1 mg de biomasa en raíz, las líneas originales tuvieron 97.4 mg y los compuestos balanceados 65 mg. Las líneas originales presentaron 48.6 % más biomasa que los grupos de líneas gemelas y 34.7 % más que los compuestos balanceados (Cuadro 9).

De los testigos, la línea 1053Or fue la que registró la mayor biomasa de raíz y el maíz nativo de grano azul (Oaxaca-394) fue el de menor peso (81.9 mg); en promedio, los testigos presentaron 111.9 mg de peso de raíz y por lo tanto, fueron más vigorosos que las líneas de tallos gemelos.

El contenido de biomasa radical es importante ya que las raíces primarias o seminales son originadas desde que se desarrolla el embrión en la semilla, entonces, el número de raíces seminales varía con la especie, el vigor de la semilla y las condiciones ambientales. La importancia de estas raíces es que suelen funcionar durante las primeras semanas de vida de la planta y ayudan a su establecimiento con un desarrollo muy rápido, aunque pronto sean reemplazadas por el sistema radical adventicio.

### **Biomasa total de plántula**

De las 26 líneas con el carácter tallos gemelos, 4 % (una línea) mostró el peso total de plántula mayor a 170 mg y fue la línea 2458 del grupo 1040G. El 19.2 % de líneas registró un intervalo de 140 a 159.5 mg y el restante 77 % de éstas presentaron la biomasa total menor a 139.5 mg; la línea que menor peso registró fue la 2452 con 60.9 mg (Cuadro 8).

Entre los grupos de líneas gemelas se presentaron diferencias significativas, 1053G fue el grupo de mayor peso de plántula de los tres; presentó 6.3 % más BT que 1040G y 23.5 % más que 1041G. Las líneas originales presentaron diferencias significativas, 1053Or mostró 6.8 % más BT que 1041Or y 37 % más que su respectivo grupo de líneas gemelas 1053G. La línea 1041Or tuvo 48.3 % más biomasa total que su grupo de líneas gemelas 1041G. En los compuestos balanceados, el CBG registró la mayor biomasa total y fue 26.9 % mayor a la de CBNG. En promedio, los grupos de líneas gemelas registraron 116.2 mg de BT de plántula, los compuestos balanceados 145.2 mg y las líneas originales 196.2 mg. Es decir, las líneas originales tuvieron 40.8 % más vigor que los grupos de líneas gemelas y 26.1 % más que los CB (Cuadro 9).

De los testigos, la línea original 1053Or fue la que registró la mayor biomasa (203.4 mg) y el maíz nativo de grano azul (Oaxaca-394) fue el de menor peso (155.5) (Cuadro 9).

### **Relación biomasa de la parte aérea/raíz**

De las 26 líneas que tienen el carácter tallos gemelos, 8 % (dos líneas) exhibieron una relación de biomasa parte aérea/raíz mayor a 2, estas líneas fueron 2457 y 2455 del grupo 1040G; en el intervalo de 1.5 a 1.9 se ubicó 13.3 % (4 líneas), todas del grupo 1040G, éstas fueron: 2452, 2454, 2456 y 2458; 69.2 % (18 líneas) estuvieron en el intervalo de 1.0 a 1.4 y el 8 % restante (dos líneas) tuvo menos de 1.0, éstas fueron 2451 del grupo 1040G y 2472 del 1053G (Cuadro 8).

Los grupos de líneas gemelas mostraron diferencias significativas, siendo 1040G el grupo que presentó la mayor relación parte aérea/raíz de los tres; seguido del grupo 1041G y 1053G que presentó el menor valor (1.1) en la relación de biomasa de parte aérea/raíz (Cuadro 9).

Las líneas originales presentaron diferencias significativas entre sí, la línea 1053Or fue de mayor valor que la 1041Or. La 1053Or, al compararla con su correspondiente grupo de gemelos 1053G, fue 8.2 % menor y la 1041Or tuvo 20 % menos relación parte aérea/raíz que la 1041G. De los compuestos balanceados, CBNG presentó 11.8 % menos valor de relación parte aérea/raíz que CBG (Cuadro 9).

En promedio, los grupos de líneas gemelas presentaron los valores mayores en esta variable, comparados con el grupo de testigos (Cuadro 9). Esto fue debido a la



presencia de los dos ejes de tallo por semilla, pues al desarrollarse más la parte aérea, la relación parte aérea /raíz aumentó.

La relación parte aérea/raíz se traduce en el balance que existe entre la parte transpirante y la parte absorbente. El maíz, como muchas otras plantas, tiende a mantener un equilibrio funcional entre la biomasa de raíz y la biomasa de la parte aérea (tallos y hojas). Este parámetro puede ser de gran importancia en el establecimiento del cultivo cuando éste tiene lugar en ambientes donde la limitante es la humedad.

**Cuadro 8.** Valores medios de las variables de expresión de vigor (biomasa) en plántulas de líneas con tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

No.	Línea	Grupo	Biomasa			Relación Biomasa
			Parte aérea (mg)	Radícula (mg)	Total (mg)	P.aérea/Raíz
1	2458	1040G	110.4 a	67.3 d	177.7 a	1.70 d
2	2460	1040G	88.3 c	62.7 e	151.1b	1.46 g
3	2472	1053G	70.3 h	79.5 a	149.7 b	0.90 q
4	2449	1040G	85.7 d	61.6 f	147.3 c	1.45 g
5	2461	1040G	76.7 f	66.9 d	143.6 d	1.19 l
6	2457	1040G	93.8 b	47.0 l	140.8 e	2.14 a
7	2446	1040G	70.3 h	68.6 c	139.0 f	1.05 o
8	2473	1053G	75.2 g	61.4 f	136.7 f	1.27 k
9	2450	1040G	77.3 f	57.8 g	135.1 g	1.43 h
10	2451	1040G	60.6 k	72.5 b	133.1 h	0.97 p
11	2454	1040G	81.9 e	45.7 m	127.6 i	1.86 b
12	2470	1053G	66.3 i	56.1 h	122.3 j	1.25 k
13	2459	1040G	70.3 h	49.2 k	119.5 k	1.48 f
14	2466	1041G	63.2 j	54.0 i	117.2 l	1.19 l
15	2468	1041G	58.3 k	55.7 h	114.0 m	1.08 o
16	2463	1041G	57.1 l	54.7 i	111.8 n	1.07 o
17	2456	1040G	65.9 i	43.1 n	109.1 o	1.74 c
18	2471	1053G	54.3 m	49.8 j	104.1 p	1.09 o
19	2448	1040G	56.6 l	46.8 l	103.5 p	1.27 j
20	2455	1040G	65.4 i	35.0 p	100.3 p	2.06 a
21	2465	1041G	50.3 n	46.9 l	97.3 q	1.12 o
22	2464	1041G	39.9 p	36.3 o	76.2 r	1.13 n
23	2467	1041G	41.9 o	29.8 p	71.7 s	1.42 i
24	2453	1040G	39.2 p	28.8 p	68.0 s	1.48 f
25	2447	1040G	33.7 q	29.3 p	62.9 s	1.17 m
26	2452	1040G	36.4 q	24.5 q	60.9 s	1.54 e
	Promedio		64.9	51.2	116.2	1.3

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05)

**Cuadro 9.** Valores medios de las variables de expresión de vigor en plántulas de los grupos de poblaciones. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

GRUPOS	No.	Longitud			Biomasa			Relación biomasa P aérea/Raíz	
		Parte aérea	Raíz	Total	Parte aérea	Radícula	Total		
		(cm)	(cm)	(cm)	(mg)	(mg)	(mg)		
1040 G	16	13.6 h	6.4 c	20.1 e	69.5 f	50.4 f	120.0 d	1.50 a	
1041 G	6	11.2 j	6.2 c	17.4 f	51.8 h	46.2 f	98.0 e	1.17 c	
1053 G	4	13.1 i	7.2 c	20.3 e	66.51 g	61.7 e	128.2 d	1.13 d	
1041 Original	1	16.9 c	8.0 b	24.9 b	92.6 b	97.0 b	189.6 b	0.96 f	
1053 Original	1	19.1 b	7.4 b	26.5 b	101.2 a	102.2 a	203.4 a	1.01 e	
Compuestos balanceados ¥									
CB Gemelos	1	16.3 d	6.9 c	23.2 d	94.6 b	73.2 d	167.8 b	1.35 b	
CB No Gemelos	1	14.2 g	6.2 c	20.4 e	65.6 g	56.9 e	122.6 d	1.19 c	
Nativos									
Azul Chalco 352	1	15.8 f	9.9 a	25.7 b	84.2 d	109.9 a	194.2 b	0.79 g	
Azul Oax 394	1	16.7 d	6.8 c	23.5 d	73.7 e	81.9 c	155.5 c	0.93 f	
Blanco Huexotla	1	19.4 a	8.3 b	27.7 a	95.4 b	100.8 b	196.2 a	0.95 f	
Mejorados									
Blanco H-San José	1	16.1 e	7.9 b	24.0 c	100.7 a	95.7 b	196.4 a	1.08 e	
Amarillo H-San Marcos	1	15.6 f	8.2 b	23.8 c	89.6 c	82.0 c	171.6 b	1.13 d	
DMS		3.1	2.1	4.1	22.7	19.9	38.9	0.37	

Medias con la misma letra en cada columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ¥ Los compuestos balanceados de gemelos (CBG) se formaron con mezcla de semilla de plantas de tallos gemelos y el compuesto balanceado de no gemelos (CBNG) se formaron con mezcla de semilla de plantas no gemelas; ambas semillas de los CB provienen de plantas de líneas de tallos gemelos de los grupos 1040G, 1041G y 1053G, previamente recombinados.

### Líneas sobresalientes:

De la evaluación realizada a las 26 líneas con el carácter de tallos gemelos, las líneas que presentaron el mayor vigor de plántulas, considerando las variables de

longitud y biomasa fueron: 2449, 2454, 2457, 2458, 2460 del grupo 1040G y 2472 del grupo 1053G (Cuadro 10). Estas líneas mostraron valores superiores en emergencia, frecuencia de tallos gemelos, longitud de la parte aérea, longitud de raíz, longitud total de plántula, biomasa de la parte aérea, biomasa de raíz y biomasa total de plántula.

**Cuadro 10.** Caracteres sobresalientes de vigor en líneas que poseen el carácter tallos gemelos. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

Grupo	Línea	Porcentaje de emergencia	Frecuencia T Gemelos	Longitud			Biomasa		
				Parte Aérea	Radícula	Total	Parte Aérea	Radícula	Total
1040G	2449	+	+	-	-	-	+	+	+
1040G	2454	+	+	+	-	+	+	-	+
1040G	2457	+	+	+	-	+	-	+	+
1040G	2458	+	+	+	+	+	+	+	+
1040G	2460	+	-	+	+	+	+	+	+
1053G	2472	+	+	-	-	-	+	+	+

+ = Característica sobresaliente. Porcentaje de emergencia > 85 %; Frecuencia de tallos gemelos >46 %; longitud de parte aérea >18 cm; longitud radícula > 8 cm; longitud total > 20; biomasa parte aérea > 80 mg; biomasa raíz > 60 mg; biomasa total > 140 mg.

Los compuestos balanceados fueron superiores a las líneas de tallos gemelos en todas las variables, como ya se mencionó en el capítulo anterior, fue debido a que estos CB se formaron con una mezcla balanceada de semillas de líneas de tallos gemelos (CBG) y de tallos no gemelos (CBNG) previamente seleccionadas que sobresalieron en vigor (1040G, 1041G y 1053G). Los testigos fueron superiores, en todas las variables, a las líneas con el carácter tallos gemelos. El testigo que presentó plántulas más vigorosas fue la línea original 1053Or; las características

en las que fue superior a todos los genotipos estudiados fueron: biomasa de la parte aérea, de la raíz y biomasa total.

#### 5.4.6. Vigor de plántulas entre tipos de tallos gemelos y no gemelos

La siguiente comparación se hizo entre plántulas de tallos gemelos (dos tallos) con plántulas de tallo individual (un tallo) de la misma línea y a su vez, con plántulas de líneas originales (un tallo, líneas 1041Or y 1053Or). En el Cuadro 11 se observa que se encontraron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ) en todas las variables en los tres tipos de plántulas: plántulas de tallos gemelos (TG), plántulas no gemelas de la misma línea (TNG) y plántulas de la línea original que no tiene el carácter tallos gemelos (LOr). Los coeficientes de variación estuvieron altos, esto fue debido a la gran dispersión de los datos con respecto a su valor medio.

**Cuadro 11.** Cuadrados medios de las variables de expresión de vigor de plántulas en los diferentes tipos de tallos, Montecillo Texcoco, Estado de México, 2012.

FV	GL	Longitud			Biomasa			Relación Biomasa
		Parte aérea	Raíz	Total	Parte aérea	Raíz	Total	P Aérea/Raíz
Tratamiento	2	1158.97**	19.38**	1443.76**	15929.05**	32235.43**	93254.7**	3.02**
Error	577	8.8	2.9	13.7	485.5	316.3	1341.3	0.14
CV (%)		22.3	25.8	18.6	32.8	33.0	30.3	27.9

\*\*=  $P \leq 0.01$ ,  $p = 0.05$ ; FV= fuentes de variación, GL= grados de libertad, CV= Coeficiente de variación

En la comparación de medias (Cuadro 12) se observa que en la variable longitud de la parte aérea, las plántulas provenientes de las líneas originales fueron 37.2 % más largas que las plántulas de tallos gemelos y 17 % más que las no gemelas

provenientes de la misma línea con el carácter de tallos gemelos. Las plántulas TNG presentaron 25 % más longitud que las plántulas TG.

En la comparación de medias (Tukey) de la variable longitud de radícula, las plántulas de las líneas originales (LOr) fueron las que presentaron la mayor longitud de radícula, las LOr comparadas con las plántulas de las líneas de tallos gemelos fueron 17 % más largas que las plántulas TG y 13 % más que las TNG (Cuadro 12). Para esta variable no se encontraron diferencias significativas entre plántulas de tallos gemelos y no gemelos presentes en la misma línea, esto se debió a que de los diferentes tipos de expresión de plántulas de tallos gemelos identificados, la mayoría se encontró compartiendo la misma radícula y por consiguiente, durante la germinación de la semilla, ésta no distribuyó sus reservas hacia dos radículas, que presentan un desarrollo similar al de una plántula no gemela.

En cuanto a la longitud total, las plántulas de LOr fueron las de mayor tamaño, tuvieron 16 % más longitud que las plántulas TNG y 31.1 % más que las TG. En esta variable las plántulas TNG provenientes de líneas con el carácter de tallos gemelos fueron 18 % más altas que las TG (Cuadro 12). Estos datos coinciden con lo registrado por Pérez (2004) quien menciona que las plántulas no gemelas son de mayor vigor que las plántulas de tallos gemelos.

De las líneas originales, las plántulas tuvieron mejor desarrollo de la parte aérea y por lo tanto, presentaron el mayor vigor; esto fue debido a que de las semillas de las líneas originales y las de las semillas no gemelas procedentes de líneas con el

carácter tallos gemelos, sus reservas se distribuyeron en una sola plántula, mientras que en las de tallos gemelos, esas reservas se utilizaron para el crecimiento de los dos ejes (dos plántulas) y quizás no fueron suficientes para favorecer el rápido desarrollo de éstos.

En las variables de biomasa total, de la parte aérea y de raíz, las plántulas de LOr presentaron mayor desarrollo, pues mostraron valores superiores al compararlas con las plántulas de TG y TNG intra línea. En la biomasa de la parte aérea fueron 26.7 % más altas que las de TNG y 37 % más que las de TG. En la biomasa de raíz también las plántulas de LOr presentaron 41 % más peso que las plántulas de TNG y 54 % más que las de TG y en biomasa total, fueron 34 % mayores que las de TNG y 45.5 % superiores que las de TG. Las plántulas de TNG presentaron mayor biomasa que las de TG; tuvieron 21 % más biomasa de raíz y 17 % más biomasa total que las plántulas de TG (Cuadro 12).

**Cuadro 12.** Valores medios de las variables de expresión de vigor de plántula en los diferentes tipos de plantas. Montecillo, Texcoco, Estado de México, 2012.

Tipo de Plántula	Longitud			Biomasa			Relación Biomasa Paérea/Raíz
	Parte aérea (cm)	Raíz (cm)	Total (cm)	Parte aérea (mg)	Raíz (mg)	Total (mg)	
TG	11.3 c	6.4 b	17.7 c	61.2 b	46.1 c	107.2 c	1.4 a
TNG	15.0 b	6.7 b	21.6 b	71.0 b	58.3 b	129.3 b	1.3 a
LOr	18.0 a	7.7 a	25.7 a	96.9 a	99.6 a	196.5 a	1.0 b
DSM	1.4	0.8	1.7	10.1	8.2	16.8	0.17

TNG= plántula no gemela (plántula de un tallo proveniente de líneas con el carácter tallos gemelos); TG= Plántula de tallos gemelos (dos tallos provenientes de líneas con el carácter tallos gemelos) y LOr= plántula de líneas que no tienen el carácter tallos gemelos.

Para la variable biomasa de la parte aérea, al comparar las plántulas de tallos gemelos y de no gemelos dentro de la línea, no se encontraron diferencias significativas en esta variable de vigor entre los dos tipos de plántulas. Esto coincide con lo reportado por Pérez (2004) quien menciona que una plántula de tallos gemelos podría expresar casi igual vigor que una no gemela.

En la variable relación biomasa parte aérea/raíz, las líneas originales guardaron igual proporción entre estos órganos, pues presentaron el valor de 1.0 y las plántulas de tallos gemelos fueron las que menos equilibrio presentaron pues tuvieron un valor de 1.4; es decir, que la parte aérea acumuló 40% más biomasa (biomasa de dos tallos) que la raíz (una sola).

## **5.5. CONCLUSIONES**

Con base en los objetivos e hipótesis planteados, conforme a los resultados obtenidos se concluye:

Las líneas con tallos gemelos presentaron alto porcentaje de emergencia (81.3 %) y frecuencia de tallos gemelos (51 %), con lo que se comprueba que el proceso de selección aplicado ha favorecido a estas líneas de manera que se ha incrementado la expresión del carácter tallos gemelos en líneas vigorosas.

Los testigos tuvieron mayor porcentaje de emergencia (91 %) que las líneas de tallos gemelos.



Se identificaron ocho tipos de expresión fenotípica en las líneas con el carácter tallos gemelos evaluadas, siendo el tipo A el que se presentó con mayor frecuencia (59.5 %) en estas líneas.

Las plántulas de líneas de maíz que poseen el carácter tallos gemelos expresaron un comportamiento diferente al de las líneas sin este carácter (LOr), en las variables evaluadas que expresan vigor, los testigos (sin el carácter) fueron superiores a las líneas de tallos gemelos.

Los compuestos balanceados de tallos gemelos (CBG y CBNG) tuvieron un mejor comportamiento que las líneas de tallos gemelos en todas las variables, evidenciando cierto nivel de vigor híbrido como consecuencia de la combinación de los grupos de líneas.

Entre plántulas de tallos gemelos y no gemelos dentro de la misma línea se encontraron diferencias significativas en las variables de longitud de la parte aérea, longitud total, biomasa de raíz y biomasa total, siendo las plántulas de tallos gemelos las que presentaron menores valores en estas variables en comparación con las no gemelas. En las variables de longitud de radícula, biomasa de parte aérea y relación biomasa parte aérea-raíz no se encontraron diferencias, se comportaron de manera semejante las plántulas de tallos gemelos y no gemelos.

De las 26 líneas evaluadas con el carácter tallos gemelos, seis líneas reunieron características sobresalientes en longitud y biomasa de planta: 2449, 2454, 2457, 2458, 2460 y 2472. Estas líneas, podrían utilizarse en programas de mejoramiento genético para aprovechar el carácter en estudio.

El carácter “tallos gemelos” se propone como un modelo epigenético para estudios futuros, de diversa índole.

## 5.6. LITERATURA CITADA

**Acevedo, E., T. C Hsiao and D. W. Henderson. 1971.** Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. *Plant Physiology* 8: 631-636.

**Aristizábal M. L. y L. P. Álvarez. 2006.** Efectos del deterioro de la semilla sobre el vigor, crecimiento y producción de maíz (*Zea mays*). Departamento de Fitotecnia, Universidad de Caldas, Manizales. E. Colombia. [En línea]. Disponible en: [http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia14-1\\_3.pdf](http://agronomia.ucaldas.edu.co/downloads/Agronomia14-1_3.pdf) (revisado 15 de mayo 2012).

**Erdelská, O. Z, Vidovencová. 1992.** Cleavage polyembryony in maize. *Sexual Plant Reproduction* 5:224-226.

**Erdelská, O. 1996.** Polyembryony in maize: Histological Analysis. *Acta Societatis Botanicorum Polonia*. 65 (1-2):123-125

**Espinoza, J., M. C. Vega, E. Navarro, G. A. Burciaga. 1998.** Poliembriónía en maíces de porte normal y enano. *Agronomía Mesoamericana* 9(2):83-88.

**Flores, V. E. 1999.** La planta: Estructura y función. Vol. I y II. Libro Universitario Regional. Costa Rica. 884 p.

**Heydecker, W. 1960.** Can we measure seedling vigor? *Proc. Int. Seed Test. Assoc.* 25: 498-512.

**Ludlow, M. M. and R.C. Muchow, 1990.** A critical evaluation of traits for improving crop yields in water limited environments. *Adv. in Agronomy* 43: 107-153.

**Martínez, G. P., P. Sánchez R, F. Dicenta, T. Gradziel. 2005.** Caracterización de embriones múltiples en almendro. Departamento de Mejora y Patología Vegetal, CEBAS-CSIC. Murcia, España. [En línea]. Disponible en:

[http://www.inia.es/gcontrec/pub/almendro\\_1045214786750.pdf](http://www.inia.es/gcontrec/pub/almendro_1045214786750.pdf) (revisado 12 de enero 2011).

**Villaseñor M. H. 1984.** Factores que determinan el vigor de plántulas de maíz. Tesis Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 86 p.

**Paliwal, R. L., G. Granados, H. R. Lafitte, A. D. Violic. J. P. Marathée. 2001.** El maíz en los trópicos: mejoramiento y producción. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, Italia. 380 p.

**Pérez, D. J. 2004.** Comparación morfológica y agronómica de plantas gemelas y no gemelas de poblaciones de maíz de Valles Altos. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. 58 p.

**Salisbury, F. A. y C. Ross. 2002.** Fisiología Vegetal. Iberoamericano. México. 536 p.

**Santiago, R. L. 1988.** Comportamiento de la germinación y del vigor en semillas de maíz (*Zea mays* L.) de distinto origen genético, sometidas a diferentes temperaturas y sustratos. Tesis de Maestría en Ciencias. Universidad Nacional Autónoma de México. 77 p.

## CAPÍTULO VI

### CONCLUSIONES GENERALES

El método de mejoramiento aplicado para la obtención de las 26 líneas S<sub>5</sub> de maíz que poseen el carácter tallos gemelos (TG) durante varios ciclos, ha favorecido el incremento en el porcentaje de emergencia y la frecuencia de tallos gemelos. También se ha mantenido el porte medio de planta, el período a floración intermedio, la sincronía entre floraciones, presentan vigor y buen rendimiento.

Las semillas de las líneas TG presentaron alto contenido de proteína (12 %), para contenido de lisina mostraron 0.30 % de aminoácido en muestra, este promedio fue similar al de los materiales que no poseen el carácter de tallos gemelos. En cuanto al contenido de triptófano el promedio general de las 26 líneas con el carácter tallos gemelos fue 0.072 %, por lo que se puede considerar que estos materiales presentan proteína de calidad.

Con respecto a la expresión morfológica de los embriones en las líneas TG, se identificaron nueve tipos, siendo el Tipo II el que se manifestó en mayor porcentaje (44.1 %).

En biomasa de embrión con respecto a la biomasa de semilla, las líneas TG tuvieron menor porcentaje de esta estructura comparada con la de los embriones de los testigos no gemelos.

A nivel de plántula se identificaron ocho tipos de expresión fenotípica en las líneas con el carácter tallos gemelos evaluadas, siendo el Tipo A el que se presentó con mayor frecuencia (59.5 %).

Entre plántulas de tallos gemelos y no gemelos dentro de la misma línea, se encontraron diferencias significativas en las variables de longitud de la parte aérea, longitud total, biomasa de raíz y biomasa total, siendo las plántulas de tallos gemelos las que presentaron menores valores en estas variables, en comparación con las no gemelas. En las variables de longitud de radícula, biomasa de parte aérea y relación biomasa parte aérea-raíz no se encontraron diferencias, se comportaron de manera semejante las plántulas de tallos gemelos y no gemelos.

De las 26 líneas de tallos gemelos evaluadas, 14 líneas reunieron características sobresalientes en las pruebas antes mencionadas y son: 2449, 2450, 2451, 2453, 2454, 2455, 2457, 2458, 2460, 2461, 2463, 2467, 2468 y 2470. Estas líneas podrían utilizarse en programas de mejoramiento genético para aprovechar el carácter en estudio.

En general, los compuestos balanceados de tallos gemelos (CBG y CBNG) tuvieron un mejor comportamiento que las líneas de tallos gemelos en todas las variables, evidenciando cierto nivel de vigor híbrido, como consecuencia de la combinación de los tres grupos de líneas.

Para la obtención de las líneas en estudio se realizaron autofecundaciones y aumentos de cruzas fraternales, con semilla de plantas con tallos gemelos; sin embargo, siempre segregan plántulas normales y con tallos gemelos, lo cual demuestra que en estas líneas de maíz no hay mutaciones en su ADN. Gottschling (2007) define el fenómeno epigenético como un cambio en el fenotipo, que es hereditario, pero no involucra mutación en el ADN; por lo tanto, las

diferentes expresiones fenotípicas identificadas en las plántulas de las líneas con el carácter “tallos gemelos” son evidencias de mecanismos epigenéticos, ya que no todas las plántulas provenientes de las semillas de las líneas con el carácter de tallos gemelos manifiestan el carácter. Se propone que el carácter “tallos gemelos” puede considerarse un buen modelo para estudios epigenéticos futuros, de diversa índole.