

COMPONENTES DEL CRECIMIENTO DE GRANO DE LÍNEAS DE MAÍZ DE PESO CONTRASTANTE DE GRANO

GRAIN GROWTH COMPONENTS OF CORN LINES WITH DIFFERENT GRAIN WEIGHT

José Alberto López-Santillán¹, Joaquín Ortiz Cereceres¹ y María del Carmen Mendoza Castillo¹

RESUMEN

En el maíz, el rendimiento de grano está determinado por el número de granos por mazorca y el peso individual (PIG) de los mismos, este último es función de la tasa (TLLG) y de los períodos total (PLLG) y efectivo de llenado de grano (PELLG), a estas características se les conoce como componentes del crecimiento del grano. En 1997, se evaluaron en el Campo Experimental del Colegio de Postgraduados en Tecámac Edo. de México, los componentes y la dinámica de crecimiento del grano de siete líneas de maíz contrastantes en el PIG con el objetivo de investigar las relaciones entre los componentes de crecimiento de grano y el PIG. Las líneas de mayor peso de grano tuvieron mayores valores promedio de PLLG, PELLG y TLLG en comparación con las de menor peso, con diferencias de 4.4 días, 4.8 días y 1.41 mg día⁻¹ respectivamente; sin embargo, dentro de los grupos de líneas con igual PIG, valores superiores de los componentes del crecimiento de grano no siempre significó mayor PIG; esto aunado a la correlación de PIG con los componentes antes mencionados (PLLG = 0.49 **, PELLG, 0.29 * y TLLG = 0.53 **), permite señalar una relación positiva de estos componentes con el PIG; por otra parte, ya que 43.1% del PLLG lo forman las etapas lenta inicial y final del llenado de grano donde se acumuló 13% del PIG, 87% restante se acumuló durante el PELLG; este componente y la TLLG se consideran los componentes del llenado de grano de mayor importancia; sin embargo, tomando en cuenta que se encontró una correlación negativa entre ellos, éstos no serán siempre en conjunto los determinantes de un mayor PIG.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES

Zea mays L., biomasa de grano, período de llenado de grano, período efectivo de llenado de grano, tasa de llenado de grano.

SUMMARY

In corn, grain yield is determined by the number of grains per ear and the individual grain weight (IGW), the IGW is function of the grain filling rate (GFR), total grain filling period (GFP) and effective grain filling period (EGFP). These characteristics are known as grain growth components. In 1997, in the Experimental Station of the Colegio de Postgraduados in Tecámac, Mexico, the components and the dynamics of the grain growth were evaluated seven corn lines with different grain weight, to investigate the relations of the components of the grain growth with the IGW. The results indicated greater average values of GFP, EGFP and GFR in the large grain lines in comparison with the small grain weight lines, with differences of 4.4 days, 4.8 days and 1.41 mg day⁻¹, respectively. However, within each group of lines with equal IGW superior values of the components of the grain growth not always meant greater IGW; this and the correlation of IGW with the components mentioned before (GFP = 0.49 **, EGFP = 0.29 * and GFR = 0.53 **), permits to indicate a positive relationship of these components with the IGW. On the other hand, since 43.1% of the GFP corresponds to the final and initial slow stages, and only 13% of the IGW was accumulated in those periods while the remainder 87% was accumulated during the EGFP, thus effective grain filling period and the grain filling rate are considered of greater importance in the determination of the individual grain weight. However, taking into account a negative correlation between these two components, greater values of then not always will result in greater IGW.

ADDITIONAL INDEX WORDS

Zea mays L., grain weight, grain filling period, effective grain filling period, grain filling rate.

INTRODUCCIÓN

En México, centro de origen del maíz, existen diversos complejos genéticos para rendimiento y

¹ Colegio de Postgraduados. IREGEP. Km. 36.5 Carret. México-Texcoco-México. C.P.56230 Montecillo, Edo. de México, Tel. y Fax: 01(595) 2-0200 y 2-0262

otras características agronómicas, que han servido de base a los programas de mejoramiento genético de esta especie. Se ha utilizado en mayor medida al rendimiento de grano como criterio principal para la evaluación y selección; bajo este enfoque, se han desarrollado un gran número de híbridos que sin duda han sido importantes para el aumento de la producción de maíz, así como de la productividad por unidad de área. Sin embargo, paralelamente al rendimiento de grano también se aumenta la producción de biomasa total (Tollenaar *et al.*, 1994), por lo que la eficiencia en la conversión de ésta al rendimiento de grano tiende a disminuir y en el mejor de los casos a mantenerse constante; en consecuencia, las plantas resultantes son de un mayor porte y de ciclo más largo y su respuesta a ciertas prácticas de cultivo, como la densidad de siembra o varios ciclos de cultivo al año, que en algunas regiones facilitaría el aumento de la productividad de cultivos mejorados, es limitada (Ortiz *et al.*, 1985). Como alternativa para esta problemática se ha propuesto el desarrollo de arquetipos de plantas más eficientes, mediante el uso de componentes fisiológicos y fisiotécnicos del rendimiento. En relación a esto, Ortiz *et al.* (1985) mencionan la necesidad de estudiar aquellas características que puedan mejorar la eficiencia de la planta y el rendimiento de grano, para así determinar cuáles son necesarias para el buen desarrollo del cultivo en un ambiente dado, y que podrían incorporarse en los programas de fitomejoramiento como criterios adicionales para la evaluación y selección de los genotipos y lograr el arquetipo deseado. En maíz, diversas características morfológicas y de desarrollo del grano han sido estudiadas (Mock and Pearce, 1975); mas no se conoce integralmente su contribución al potencial de rendimiento, pues ésta varía de acuerdo al genotipo y a las condiciones de cultivo; por lo que, no se usan rutinariamente en los programas de mejoramiento.

El rendimiento de grano del maíz está determinado por el número de granos por planta y el peso individual de los mismos (Poneleit *et al.*, 1980). A su vez, el número de granos por planta

es función del número de granos por mazorca y el número de éstas por planta (Cirilo y Andrade, 1994). El número de mazorcas por planta dependerá del grado de proliferación de la planta; es decir, de su capacidad para producir varias mazorcas en el tallo principal y de las que produzcan los hijos (Otegui, 1995). El número de granos por mazorca por otro lado, estará determinado por el número potencial de granos (NPG) de la planta y la cantidad de éstos que lleguen a la madurez fisiológica; se considera que el número de granos por mazorca se determina durante el período comprendido entre los 15 días anteriores y posteriores a la polinización (Cirilo y Andrade, 1994).

El peso individual de grano de las gramíneas está definido por la duración del período comprendido entre la polinización y la madurez fisiológica, al cual se le conoce como período de llenado de grano (PLLG), que es el período en el cual se acumula biomasa en el grano (Seka y Cross, 1995) y por la tasa de acumulación de dicha biomasa (TLLG), la cual según Cross y Mostafavi (1994) es el determinante más importante del peso individual del grano. En diversos estudios se ha encontrado una relación negativa entre estos dos componentes del crecimiento del grano, PLLG y TLLG (Poneleit *et al.*, 1980), mientras que los mismos presentan una correlación positiva con la biomasa individual del grano y por lo tanto con el rendimiento total por planta (Hartung *et al.*, 1989). Igualmente se ha encontrado que el período efectivo de llenado de grano (PELLG), que es otro componente del crecimiento del grano, está relacionado positivamente con la biomasa del grano y con el rendimiento total en el maíz y otros cereales (Cross y Mostafavi, 1994); el PELLG se define como el período lineal o de máxima acumulación de biomasa en el grano, así el PLLG es la suma del PELLG y de los períodos lento inicial y final del crecimiento del grano (Daynard *et al.*, 1971). Lo anterior indica que valores altos de PLLG, TLLG Y PELLG determinarán una mayor acumulación de biomasa en el grano; sin embargo, esas características guardan relacio-

nes muy diversas entre sí y son afectadas por los factores ambientales que inciden sobre el crecimiento y desarrollo de la planta, como la temperatura (Brooking, 1993), la competencia entre plantas (Poneleit y Egli, 1979), la disponibilidad de fotoasimilados (Duncan *et al.*, 1965), y el estrés producido por enfermedades en trigo (McGrath y Pennypacker, 1991), por humedad o fertilidad (Poneleit y Egli, 1979).

De esta manera, el objetivo de este trabajo fue estudiar la dinámica de crecimiento del grano de líneas de maíz con diferente peso de grano y las relaciones de este con los componentes del crecimiento del grano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se estudiaron siete líneas de maíz con endogamia superior a 95%, que fueron clasificadas previamente en dos grupos con diferente peso seco individual de grano (PIG) (Cuadro 1), este material fue desarrollado en el Área de Fisiotecnia Vegetal del Instituto de Recursos Genéticos y Productividad del Colegio de Postgraduados. En el ciclo Primavera-Verano de 1997, en el Campo Agrícola Experimental del Colegio de Postgraduados ubicado en Tecámac, Edo. de México, se establecieron las líneas en parcelas de ocho surcos de cinco metros de longitud con una separación de 0.80 m y a una distancia entre plantas de 0.25 m para obtener una densidad de población de 50 000 plantas ha⁻¹. El análisis de datos se realizó bajo un diseño completamente al azar con ocho tratamientos (líneas) y ocho y cinco repeticiones; la parcela experimental fue una planta.

En el período entre floración femenina y masculina se determinó en cinco plantas el número de potencial de granos por mazorca (NPG) mediante el conteo de las florecillas de cada jilote, el área foliar (AF) y la altura de planta (AP) (Andrade, 1996). A la cosecha en ocho plantas por línea, se determinó la biomasa total por planta (BTP), rendimiento de grano por planta (RGP) y el número de granos por mazorca

(NGM). Se determinó la duración de la etapa vegetativa (EV = número de días de la siembra a iniciación floral), de la etapa de desarrollo de las inflorescencias (EDI = período en días de la iniciación floral a polinización) y el período de llenado de grano (PLLG = número de días de la polinización a madurez fisiológica); a partir de los 28 días después de la siembra se disecaron tres plantas por línea a intervalos variables de acuerdo a su desarrollo hasta encontrar el momento de iniciación floral tanto masculina como femenina mediante la observación del meristemo según lo describe Bonnett (1983); con la finalidad de conocer la fecha exacta del inicio del PLLG y de eliminar posibles efectos de xenia en el crecimiento del grano todas las plantas utilizadas dentro de cada línea fueron polinizadas manualmente y en la misma fecha (mayor cantidad de plantas dentro de la línea con exposición de estigmas) con una mezcla de polen de las plantas de la línea; la fecha de madurez fisiológica se registró al momento de la aparición de la capa negra en los granos del tercio medio de la mazorca de ocho plantas por línea (Daynard y Duncan, 1969).

Para estudiar la dinámica de crecimiento del grano y sus componentes y determinar la tasa (TLLG) y el período efectivo de llenado de grano (PELLG), se muestrearon 12 granos por mazorca en ocho plantas por línea a intervalos de siete días, a partir de 14 días después de la polinización y hasta la madurez fisiológica. Estos muestreos se efectuaron extrayendo los granos por una abertura de las bracteas, sellándola con cinta adhesiva para hacer después el siguiente muestreo en la misma mazorca. Cada muestreo se hizo en hileras alternas para evitar incluir dañados en el muestreo anterior; la muestra fue secada a temperatura ambiente y pesada en cada ocasión. Con el PIG promedio de cada línea en los muestreos y los días después de la polinización (DDP) en que se realizaron éstos, se obtuvo una curva de crecimiento del grano para cada línea ajustándose los valores observados mediante un modelo de regresión. La TLLG se midió durante la fase lineal

de crecimiento la que se definió en la curva de acumulación de biomasa en el grano mediante la siguiente relación:

$$\text{TLLG} = \text{biomasa final} - \text{biomasa inicial} / \text{período en días entre los muestreos}$$

El PELLG se determinó mediante la siguiente relación: $\text{PELLG} = \text{PIG final} / \text{TLLG}$ (Daynard *et al.*, 1971).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La clasificación por peso de grano (PIG) de las líneas estudiadas resultó similar a la establecida previamente (Cuadro 1). Las diferencias entre los grupos de mayor y menor peso de grano, fueron estadísticamente significantes teniendo un promedio por grupo de 295.3 mg y 179.0 mg respectivamente (Cuadro 2). Así mismo, las líneas de mayor peso de grano tuvieron significativamente mayor AP, BTP y RGP en comparación con las de menor peso. Para el caso del AF, aún cuando las líneas de mayor peso de grano presentaron valores promedio mayores que las líneas de menor peso, solamente la línea 1053 (MP), presentó un AF que fue estadísticamente diferente (Cuadro 2).

Las líneas estudiadas mostraron diferencias significativas en el NPG; y en promedio, las líneas de mayor peso de grano tuvieron un mayor NPG (687.4) que las líneas de menor peso (516.2); sin embargo, el porcentaje de los granos potenciales que llegaron a la madurez fisiológica de las líneas de mayor peso fue menor que el de las líneas de menor peso, lo cual causó que no existieran diferencias estadísticas entre las líneas en el NGM (Cuadro 3).

Cuando se consideraron todas las líneas, el PIG presentó una correlación positiva y altamente significativa con RGP, BTP y AP y significativa con AF y NPG y mientras que con el NGM no hubo correlación (Cuadro 4); sin embargo, el NGM tuvo una correlación positiva y altamente significativa con el RGP y NPG.

Cuando las correlaciones se calcularon para cada grupo, en las líneas de mayor peso de grano el PIG solamente se correlacionó negativamente con el NGM y positivamente con la BTP; el NGM tuvo una relación significativa con el RGP y con el NPG; por otra parte, en las líneas de menor peso grano el PIG solamente presentó correlación significativa con el RGP y con la BTP, en tanto que el NGM sólo se correlacionó significativamente con el RGP (Cuadro 4).

Mayores valores de PIG y NGM significaron un mayor RGP, lo cual ha sido previamente mostrado por Fokar *et al.* (1998) en trigo; en el presente estudio, si se toma en cuenta que tanto el PIG como el NGM se correlacionaron positivamente con el RGP y que las líneas no mostraron diferencias en el NGM, pero sí en el PIG y aquellas con mayores valores de esta última característica mostraron mayor RGP, se puede señalar que el PIG tuvo mayor importancia en la determinación del RGP que el NGM, contrariamente a lo observado por Poneleit y Egli (1979) y Poneleit *et al.* (1980), por otra parte, el PIG y el NGM solo mostraron una correlación negativa entre sí dentro del grupo de líneas de mayor peso de grano, lo cual concuerda con los resultados presentados por Kiniry *et al.* (1990); asimismo, tomando en cuenta el mayor NPG de las líneas de mayor peso de grano en comparación a las de menor peso y la correlación existente entre PIG y NPG, se podría asignar un mayor potencial de rendimiento a las líneas de mayor peso de grano, sin embargo en estas un menor porcentaje del NPG llegó a madurez fisiológica, en relación a las de menor peso, las cuales tuvieron también un menor NPG, similar a los resultados de Otegui (1995); por otra parte, tomando en cuenta que hubo diferencias entre líneas en el NPG y no en el NGM, se puede señalar que es más importante que un mayor NPG llegue a madurez fisiológica que un mayor NPG por sí mismo para obtener mayor NGM, concordando con Cirilo y Andrade (1994).

Cuadro 1. PIG y características de líneas de maíz de diferente peso de grano.

Línea	CPG	PIG (mg)	VG(cm ³)	NGM	DFM	DFF
1053	MP	331.0 a	0.270	332	75	80
1046	MP	325.0 ab	0.275	332	77	80
1048	MP	279.0 abcde	0.220	361	84	86
1040	MP	269.0 abcdef	0.230	269	79	82
Promedio		301.0	0.249	323	78.7	82
1054	mp	217.0 defg	0.180	260	77	81
1038	mp	215.0 efg	0.177	242	85	86
1037	mp	202.0 fg	0.165	240	84	88
Promedio		211.0	0.174	247	82	85

CPG = Clasificación por peso de grano, PIG = Peso individual de grano, VG = Volumen de grano NGM = Número de granos por mazorca, DFM = Días a floración masculina, DFF = Días a floración femenina, MP = Mayor peso y mp = Menor peso. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 2. Peso seco individual de grano y características agronómicas de líneas de maíz de diferente peso de grano.

Línea	CPG	PIG (mg)	AP (cm)	AF (cm ²)	BTP (g)	RGP (g)
1053	MP	316.0 a	250.4 a	3727.7 a	237.3 a	105.7 a
1046	MP	316.2 a	245.2 a	2679.3 b	231.6 a	102.0 a
1048	MP	288.5 a	247.0 a	2955.6 ab	214.4 a	91.3 a
1040	MP	260.5 a	232.0 a	2669.5 b	215.7 a	95.1 a
Promedio		295.3 a	243.6 a	3008.0a	224.7 a	98.5 a
1054	mp	187.5 b	171.4 b	2002.1 b	139.1 b	51.8 b
1038	mp	184.1 b	168.8 b	2441.8 b	150.2 b	57.5 b
1037	mp	165.3 b	146.6 b	2012.0 b	118.5 b	48.7 b
Promedio		179.0 b	162.3 b	2152.0 b	135.9 b	52.7 b

CPG = Clasificación por peso de grano, AP = Altura de planta, AF = Área foliar, BTP = Biomasa total de planta, RGP = Rendimiento de grano por planta, PIG = Peso individual de grano, MP = Mayor peso y mp = Menor peso. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 3. Número de granos potenciales y producidos por mazorca de líneas de diferente peso de grano

Línea	CPG	NPG	NGM	NGM/NPG
1053	MP	712.5 a	334.4 a	46.9
1046	MP	623.5 abc	322.7 a	51.8
1048	MP	649.8 ab	316.4 a	48.7
1040	MP	763.7 a	364.9 a	47.8
Promedio		687.4 a	334.6 a	48.7
1054	mp	564.7 bc	276.4 a	49.0
1038	mp	495.2 c	312.4 a	63.1
1037	mp	488.7 c	294.6 a	60.3
Promedio		516.2 b	294.5 a	57.0

CPG = Clasificación por peso de grano, NPG = Número potencial de granos, NGM = Número de granos por mazorca, MP = Mayor peso y mp = Menor peso. Medias con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 4. Coeficientes de correlación y significancia entre el peso individual de grano y número de granos por mazorca y características agronómicas de líneas de maíz de diferente peso de grano.

	RGP	NPG	NGM	BTP	AP	AF
Total de líneas						
PIG	0.804 **	0.349 *	0.180 ns	0.879 **	0.790 **	0.399 *
NGM	0.688**	0.484**				
Líneas de mayor peso de grano						
PIG	0.374 ns	- 0.408 ns	- 0.491 *	0.585 **	0.181 ns	- 0.016 ns
NGM	0.612 **	0.249 **				
Líneas de menor peso de grano						
PIG	0.785 **	0.309 ns	0.172 ns	0.735 **	0.233 ns	0.128 ns
NGM	0.730 **	0.302 ns				

PIG = Peso individual de grano, RGP = Rendimiento de grano por planta, BP = Biomasa de planta, AP = Altura de planta, AF = Área foliar, NPG = Número potencial de granos, NGM = Número de granos por mazorca, ns = No significancia, * = Significancia a 0.05 y ** = Significancia a 0.01

El PIG mostró consistentemente una correlación positiva y significativa con la BTP tanto dentro de cada uno de los dos grupos de líneas de diferente peso de grano como cuando éstos se consideraron conjuntamente, lo cual concuerda con Tollenaar *et al.* (1994). Esto puede deberse a que las líneas originadas de una semilla de mayor peso tuvieron plantas más grandes y un PIG mayor y por lo tanto un RGP más alto, lo que permite señalar que hasta ciertos niveles, el aumento de la BTP permitirá mayores rendimientos del maíz, siempre y cuando el índice de cosecha permanezca constante o aumente. Por otra parte, dentro de cada uno de los grupos de líneas de diferente peso de grano no se observó relación del PIG con el AF ni con la AP; la correlación positiva y significativa de estas características con el PIG que existió cuando los dos grupos de líneas se consideraron en conjunto, se debe entonces a que las líneas de mayor peso de grano muestran en promedio mayores valores de AF y AP que las líneas de menor peso, lo cual aunado a sus diferencias de PIG permiten la significancia de estas relaciones.

En el Cuadro 5, se observa que hubo diferencias estadísticas entre las líneas en la duración

de las tres etapas de desarrollo EV, EDI y PLLG, así como en los DMF; sin embargo, no se observan diferencias en el promedio de la duración de la EV entre los dos grupos; por otra parte, la duración promedio de la EDI de las líneas de menor peso de grano fue 2.3 días mayor que las de mayor peso; así mismo, estas últimas tuvieron un PLLG 4.4 días más largo en promedio que las líneas de menor peso de grano, lo que causó que las líneas de mayor peso de grano sólo tuvieran 1.4 DMF más que las de menor peso.

En la Figura 1 se puede observar que todas las líneas estudiadas muestran la típica curva sigmoide de acumulación de biomasa en el grano; y que inicialmente a los 14 días después de la polinización (DDP) presentaron un PIG similar, para posteriormente a los 21 DDP diferenciarse y formar dos grupos, uno que incluye a las líneas de mayor peso de grano y el otro de menor peso; estos dos grupos además de las diferencias de PIG muestran diferencias en la duración del PLLG, del PELLG y del TLLG, siendo las líneas de mayor peso de grano las que muestran mayores valores de estos caracteres en comparación a las de menor peso.

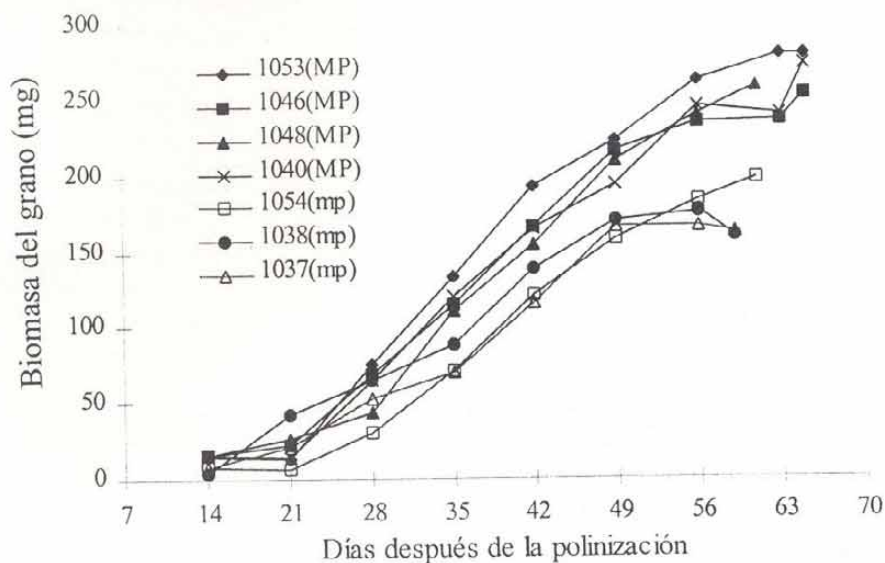


Figura 1. Acumulación de biomasa en el grano de líneas de maíz de diferente peso de grano.

Igualmente se puede observar que todas las líneas muestran prácticamente la misma duración de la fase inicial lenta de aproximadamente 21 días, a excepción de la línea 1038 en la cual tiene la duración de la fase lenta es de 14 días; así esta línea en la primera mitad del PLLG tiene un PIG similar al de las líneas de mayor peso de grano, sin embargo presenta una menor TLLG lo que provocó que después de los 35 DDP el PIG de esta línea se ubique dentro de los valores del grupo de líneas de menor peso de grano.

En el Cuadro 6, se observa una mayor TLLG en las líneas de mayor peso grano con un promedio de 6.92 mg día^{-1} en comparación con las líneas de menor peso que presentan una TLLG de 5.52 mg día^{-1} , de manera similar las líneas de mayor peso muestran un PELLG 6.55 días más largo que las líneas de menor peso de grano, aquí es necesario hacer notar que entre las líneas de mayor peso la línea 1040 tuvo la menor TLLG, pero el mayor PELLG; por otra parte, la duración de las etapas lenta inicial y final (PLLG-PELLG) fueron similares en promedio en los dos grupos de líneas, con 26.5 y 26.8 días respectivamente (Cuadro 6); asimismo las líneas de mayor peso de grano acumularon en promedio 86.2% de la biomasa total del grano durante el PELLG, en tanto que las de menor peso, acumularon 88.1%. Se observó una correlación positiva del PIG con los componentes del crecimiento del grano PLLG, PELLG y TLLG; de estas correlaciones las de mayor magnitud y grado de significancia fueron con PLLG y TLLG. Cabe destacar que la relación entre PLLG y PELLG no fue significativa. La TLLG mostró una correlación positiva y significativa con el PLLG, mientras que con el PELLG ésta fue negativa, lo cual puede deberse principalmente a que el PELLG al calcularse con la relación PIG/TLLG dado que los valores de PIG dentro de líneas mostraron cierta uniformidad, un aumento de la TLLG provocaría una disminución en el PELLG.

Todas las líneas mostraron la típica curva sigmoide de crecimiento de grano del maíz (Andrade, 1996); en todos estos casos las fases lenta inicial y final han presentado una baja o nula acumulación de biomasa; en el presente estudio, en estas fases se acumuló en promedio de todas las líneas 13% del PIG final; en la fase lineal de acumulación de biomasa, también llamada PELLG (Daynard *et al.*, 1971), se acumuló en promedio de todas las líneas 87% del PIG final (Cuadro 6); aunado a esto, si se toma en cuenta que 43.1% de la duración del PLLG corresponde a las fases lenta inicial y final, se evidencia la mayor importancia de la duración del PELLG en comparación a la del PLLG para el llenado de grano; sin embargo, no hay que olvidar que durante la etapa lenta inicial del crecimiento de grano ocurre una intensa división celular, la cual determina el número de células del endospermo, que serán rellenas por granulos de almidón durante el PELLG (Sass, 1959) y que determinan el tamaño potencial del grano, al respecto Bagnara y Daynard (1982) encontraron una correlación positiva de la duración de la fase lenta inicial con la tasa de crecimiento del endospermo y con la biomasa total del mismo, si se toma en cuenta que el endospermo contribuye con 80 a 85% de la biomasa total del grano (Reddy y Daynard, 1983), se puede inferir que la duración de la fase lenta inicial de crecimiento del grano de maíz es de gran importancia en la determinación del tamaño potencial del grano y por lo tanto para el RGP. Por otra parte, Ritchie *et al.* (1993) mencionan que durante la fase lenta final del crecimiento del grano de maíz ocurren eventos importantes para la calidad del grano; en conclusión, es claro que el PELLG es de gran importancia en la determinación del PIG y que la fase lenta inicial también juega un importante papel en este sentido, mientras que la fase lenta final tiene importancia en la definición de la calidad del grano.

Es necesario señalar que aún cuando las líneas de mayor peso de grano tuvieron un mayor PLLG y la existencia de una correlación significativa entre el PLLG y el PIG (Cuadros 5 y

Cuadro 5. Duración de las etapas de desarrollo de líneas de maíz de diferente peso de grano

Línea	CPG	EV	EDI	PLLG días	DMF
1053	MP	37.0 b	50.0 ab	65.1 a	152.1 ab
1046	MP	41.3 a	45.7 c	65.2 a	152.1 ab
1048	MP	40.0 a	54.0 a	61.2 abc	155.2 a
1040	MP	37.3 b	50.7 ab	64.7 ab	152.7 ab
Promedio		38.9 a	50.1 b	64.0 a	153.0 a
1054	mp	40.0 a	48.0 bc	60.7 bc	148.7 b
1038	mp	40.3 a	53.7 a	59.5 c	153.5 a
1037	mp	38.6 ab	55.4 a	58.6 c	152.6 ab
Promedio		39.6 a	52.4 b	59.6 b	151.6 a

CPG = Clasificación por peso de grano, EV = Etapa vegetativa, EDI = Etapa de desarrollo de inflorescencias, PLLG = Período de llenado de grano, DMF = Días a madurez fisiológica, MP = Mayor peso y mp = Menor peso. Cifras con la misma letra en sentido vertical son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha=0.05$).

Cuadro 6. TLLG y etapas del PLLG y porcentaje de biomasa acumulada en el grano durante el PELLG de líneas de maíz de diferente peso de grano.

Línea	CPG	TLLG ¹ (mg día ⁻¹)	PELLG ¹ (Días)	PLLG-PELLG (Días)	% de PIG en PELLG
1053	MP	7.47	32.29	27.8	79.6
1046	MP	6.89	35.64	29.6	88.7
1048	MP	7.07	36.16	25.1	88.1
1040	MP	6.28	41.47	23.3	88.5
Promedio		6.92	37.64	26.5	86.2
1054	mp	5.72	33.92	26.8	90.9
1038	mp	5.25	33.51	26.0	86.3
1037	mp	5.58	31.09	27.5	87.1
Promedio		5.52	32.84	26.8	88.1

CPG = Clasificación por peso de grano, TLLG = Tasa de llenado de grano, PELLG = Período efectivo de llenado de grano, PLLG = Período de llenado de grano, PIG = Peso individual de grano, MP = Mayor peso y mp = Menor peso¹, debido a que estas características se calcularon con el promedio de las 8 plantas muestreadas no se realizó un análisis de varianza.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación y significancia entre los componentes del crecimiento de grano y el peso individual de grano.

	PIG	PLLG	PELLG	TLLG
PIG	1			
PLLG	0.494 **	1		
PELLG	0.291 *	0.123 ns	1	
TLLG	0.533 **	0.346 **	- 0.491 **	1

PIG = Peso individual de grano, PLLG = Período de llenado de grano, PELLG = Período efectivo de llenado de grano. TLLG = Tasa de llenado de grano, ns = No significancia, * = Significancia a 0.05 y ** = Significancia a 0.01

7), lo cual también ha sido observado por Hartung *et al.* (1989), las líneas 1048, 1040 y 1054, mostraron valores de PLLG estadísticamente similares a pesar de tener PIG diferentes, lo que hace suponer que existen otras características con mayor influencia en la determinación del PIG, como podrían ser la TLLG y el PELLG, los cuales también mostraron correlación significativa con el PIG y valores promedio más altos en las líneas de mayor peso de grano; estos resultados concuerdan con los presentados por Poneleit *et al.* (1980) y Dofing (1997). Asimismo contrariamente a resultados presentados por Cross y Mostafavi (1994) y Seka y Cross (1995), la duración de las etapas lenta inicial y final de crecimiento del grano no tuvieron aparentemente influencia en el PIG, ya que la duración de estas etapas fue similar entre los grupos de líneas de diferente PIG (Cuadro 6). En el caso de los DMF, aún cuando se observaron valores diferentes entre las líneas (Cuadro 3), un mayor ciclo de vida de la planta no se relaciona con un mayor PIG concordando con Poneleit *et al.* (1980) y por lo tanto tampoco con un mayor RGP contrariamente a lo reportado por Dofing (1997), esto se pudo deber a que en ocasiones mayores DMF se deben a mayor duración de las EV y EDI, lo cual ha sido observado en cebada por Metzger *et al.* (1984). Todo lo anterior, demuestra que un mayor valor de PIG se debe a una mayor TLLG o un mayor PELLG (Cuadro 6 y Figura 1), reafirmando la importancia de estos componentes del crecimiento del grano; así, aun cuando estos dos componentes mostraron una correlación negativa (Cuadro 7) al igual que los resultados de Poneleit *et al.* (1980), una mayor TLLG junto con una mayor duración del PELLG provocaron mayores valores de PIG (Figura 1).

CONCLUSIONES

En las líneas de maíz estudiadas, el peso individual de grano contribuyó mayormente a las diferencias que existieron en rendimiento de grano entre líneas, en comparación al número de granos por mazorca y las de mayor biomasa

de planta presentaron mayor peso individual de grano y por lo tanto un mayor rendimiento.

No se observó efecto de la duración de las etapas de desarrollo ni del ciclo de vida de la planta sobre el peso individual de grano. Por otra parte, en el período efectivo de llenado se acumulo 87% de la biomasa final del grano y el restante 13% se acumuló durante las fases lenta inicial y final del crecimiento de grano.

El período de llenado de grano presentó valores altos en las líneas de mayor peso de grano; sin embargo pierde importancia como determinante del peso individual de grano, ya que 43.1% de su duración corresponde a las etapas inicial y final de lento crecimiento; así, la tasa y el período efectivo de llenado de grano son los componentes del crecimiento del grano en maíz más importantes para la acumulación de biomasa en el grano, aún presentando una correlación negativa entre ellos.

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade C., G. 1996. Efecto del tamaño de grano sobre la capacidad de la demanda en maíz (*Zea mays* L.). Tesis M.C. Colegio de Postgraduados, Montecillo México. 111 p.
- Bagnara, D., and T.B. Daynard. 1982. Rate and duration of kernel growth in the determination of maize (*Zea mays* L.) kernel size. *Can. J. Plant Sci.* 62:579-587.
- Bonnett, O.T. 1983. Las inflorescencias de maíz, trigo, centeno, cebada y avena: su iniciación y desarrollo. 1ª Edición. Editorial Hemisferio Sur. Argentina. pp. 1-26.
- Brooking, I.R. 1993. Effect of temperature on kernel growth rate of maize grown in a temperate maritime environment. *Field Crop Res.* 35:135-145.
- Cirilo, A.G., and F.H. Andrade. 1994. Sowing date and maize productivity: II. Kernel number determination. *Crop Sci.* 34:1044-1046.
- Cross, H.Z., and M.R. Mostafavi. 1994. Grain filling of R-nj color-selected maize strains divergently se-

- lected for kernel weight. *Can. J. Plant Sci.* 64:455-460.
- Daynard, T.B., J.W. Tanner, and W.G. Duncan. 1971. Duration of the grain filling period and its relation to grain yielding corn, *Zea mays* L. *Crop Sci.* 11:45-48.
- _____, and W.G. Duncan. 1969. The black layer and grain maturity in corn. *Crop Sci.* 9:473-476.
- Dofing, S.M. 1997. Ontogenetic evaluation of grain yield and time to maturity in barley. *Agron. J.* 89:685-690.
- Duncan, W.G., A.L. Hatfield, and J.L. Ragland. 1965. The growth and yield of corn. II. Daily growth of corn kernels. *Agron. J.* 57:221-223.
- Fokar, M., A. Blum, and H.T. Nguyen. 1998. Heat tolerance in spring wheat. II Grain filling. *Euphytica* 104:9-15.
- Hartung, R.C., C.G. Poneleit, and P.L. Cornelius. 1989. Direct and correlated responses to selection for rate and duration of grain fill in maize. *Crop Sci.* 29:740-745.
- Kiniry, J.R., C.A. Wood, D.A. Spanel, and A.J. Bockholt. 1990. Seed weight response to decreased seed number in maize. *Agron. J.* 54:98-102.
- Metzger, D.D., S.J. Czuplewski, and D.C. Rasmusson. 1984. Grain-filling duration and yield in spring barley. *Crop Sci.* 24:1101-1105.
- McGrath, M.T., and S.P. Pennypacker. 1991. Reduction in the rate and duration of grain growth in wheat due to stem rust and leaf rust. *Phytopathology* 81:778-787.
- Mock, J.J., and R.B. Pearce. 1975. An Ideotype of maize. *Euphytica.* 24:613-623.
- Ortiz C., J., L.E. Mendoza O. y V.A. González H. 1985. La fisiotecnia en la formación de arquetipos vegetales. *Ciencia y Desarrollo.* 60:115-120.
- Otegui, M.E. 1995. Prolificacy and grain yield components in modern argentinian maize hybrids. *Maydica.* 40:371-376.
- Ritchie, S.W., J.J. Hanway, and G.O. Benson. 1993. How a corn plant develops. Special Report No. 48. Iowa St. Univ. 21 p.
- 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.
- _____, D.B. Egli, P.L. Cornelius, and D.A. Reicosky. 1980. Variation and associations of kernel growth characteristics in maize populations. *Crop Sci.* 20:766-770.
- Reddy, V.M., and T.B. Daynard. 1983. Endosperm characteristics associated with rate of grain filling and kernel size in corn. *Maydica XXVIII:* 339-355.
- Sass, E.J. 1959. Morphology: Development of the caryopsis. Iowa State University. Ames, Iowa. Pp. 88-109.
- Seka, D., and H.Z. Cross. 1995. Xenia and maternal effects on maize agronomic traits at three plants densities. *Crop Sci.* 35:86-90.
- Tollenaar, M., D.E. McCullough, and L.M. Dwyer. 1994. Physiological basis of genetic improvement of corn. In: G.A. Slafer (Ed) Genetic improvement of field crops. Marcel Dekker, Inc. N.Y. pp. 183-236.