

TAMAÑO DE SEMILLA Y RELACIÓN CON SU CALIDAD FISIOLÓGICA EN VARIEDADES DE MAÍZ PARA FORRAJE*

SEED SIZE AND ITS RELATIONSHIP WITH PHYSIOLOGICAL QUALITY IN FORAGE MAIZE CULTIVARS

Claudia Pérez Mendoza¹, Adrián Hernández Livera¹, Félix Valerio González Cossio², Gabino García de los Santos¹, Aquiles Carballo Carballo¹, Tito Roque Vásquez Rojas² y María del Rosario Tovar Gómez^{3,8}

¹Instituto de Recursos Genéticos y Productividad. Programa de Semillas, Colegio de Postgraduados. ²Instituto de Socioeconomía, Estadística e Informática, Colegio de Postgraduados. ³Campo Experimental Valle de México, INIFAP. Apartado Postal No. 10. 56230. Chapingo, Estado de México, México. ⁸Autora para correspondencia: tovar.rosario@inifap.gob.mx

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el tamaño de semilla y su relación con la calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. La investigación se realizó durante el 2002 en los campos experimentales del Colegio de Postgraduados y el Valle de México. El trabajo comprendió dos fases: en la primera se evaluó la calidad física de la semilla a través de su caracterización por forma y tamaño (plano grande y medio); en la segunda se analizó la calidad fisiológica, mediante pruebas de germinación estándar en laboratorio y de vigor en microtúnel y en campo. Se evaluaron nueve variedades de maíz con un diseño factorial en bloques al azar con cuatro repeticiones. Se determinó la asociación entre variables de calidad física y fisiológica con el comportamiento en campo. Los resultados indicaron diferencias ($p \leq 0.05$) entre variedades para la mayoría de los parámetros de calidad física y fisiológica, excepto para porcentaje de viabilidad. El tamaño de semilla mostró efecto significativo ($p \leq 0.05$) en gran parte de las variables de calidad física menos en espesor de la semilla; en la calidad fisiológica solo se observaron diferencias ($p \leq 0.05$) en el peso seco de la raíz evaluado en el laboratorio. En calidad física, un análisis multivariado otorgó mayor ponderación al peso de 1000 semillas y longitud de la semilla. En la calidad fisiológica evaluada en el laboratorio, los pesos secos de la plántula y de la raíz tuvieron

relevancia y en microtúnel, el peso seco de la parte aérea y la velocidad de emergencia. Los parámetros que explicaron el comportamiento en campo fueron el peso de 1000 semillas, longitud de semilla, velocidad de emergencia y peso seco de la parte aérea. La calidad de la semilla de maíz depende principalmente del potencial genético de la variedad más que del tamaño de la misma. La semilla de las variedades Campeón, HS-2, Promesa y VS-22 mostró mayor calidad física y fisiológica.

Palabras clave: *Zea mays* L., calidad de semilla, establecimiento en campo, tamaño de semilla.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the relationship between seed size and its physiological quality in forage maize cultivars. The study was carried out during 2002 at the Colegio de Postgraduados and Valle de México Experimental Stations. The research consisted of two phases: in the first, the physical quality of the seed was characterized throughout its shape and size: flat large and flat medium. In the second, its physiological quality was determined through standard germination test in laboratory and vigor tests conducted in microtunnel and field conditions. Nine cultivars of forage

* Recibido: Mayo de 2005
Aceptado: Octubre de 2006

maize were evaluated using a randomized block design with four replications in a factorial array of treatments. The relationship between physical and physiological characteristics with field performance was determined. Cultivar differences ($p \leq 0.05$) were found for most of the evaluated traits related to physical and physiological quality, except for the percentage of viability. Seed size showed a significant effect ($p \leq 0.05$) on a large number of traits related to physical quality, with exception of seed density. In regard to the physiological quality traits, significant differences ($p \leq 0.05$) were only found in root dry weight evaluated in laboratory conditions. As for physical quality, a multivariate analysis granted the larger weight to the traits seed length and weight of 1000 seeds. For the physiological quality in laboratory, plantlet and root dry weight were the most relevant variables, whereas in microtunnel, plant dry weight and rate of emergence were the most important. The traits that contributed to explain the field response were: weight of 1000 seeds, seed length, rate of emergence and plant dry weight. The quality of forage maize seed is more dependent on the genotype of the cultivar than on the seed size. The seed of cultivars Campeón, HS-2, Promesa and VS-22 showed the higher physical and physiological quality.

Key words: *Zea mays* L., seed quality, field establishment, seed size.

INTRODUCCIÓN

Un factor básico para el éxito de la agricultura moderna es la utilización de variedades con potencial para obtener altos rendimientos en granos o forrajes. Para contribuir a este propósito, se han desarrollado técnicas de análisis que permiten evaluar la calidad de las semillas para la siembra (Hernández y Carballo, 1997), las cuales son de interés tanto para la industria semillera como para las instituciones responsables de la certificación, ya que determinan el valor de las semillas para beneficio del agricultor (ISTA, 2005).

Una semilla de calidad contribuye a mayor eficiencia varietal productiva, ya que es capaz de emerger de manera rápida y uniforme, bajo diferentes condiciones ambientales. La calidad de la semilla es un concepto basado en la valoración de diferentes atributos (Kelly, 1988), los cuales mejoran el establecimiento de la planta en campo, entre los que destacan: la calidad genética, fisiológica, física y sanitaria. (Basra, 1995; Copeland y McDonald, 1995). Por otro lado, la calidad física involucra características tales como: contenido de humedad, peso por volumen y pureza (Moreno, 1996).

De manera adicional, hoy resultan valiosas para las empresas productoras de semilla y para el usuario, tamaño y forma de la semilla, peso de mil semillas, color y daño por insectos y hongos (Basra, 1995; ISTA, 2005). Cabe destacar que la calidad fisiológica se refiere a mecanismos intrínsecos de la semilla que determinan su capacidad de germinación, la emergencia y el desarrollo de aquellas estructuras esenciales para producir una planta normal bajo condiciones favorables (Basra, 1995).

Faiguenbaum y Romero (1991) señalan que la calidad fisiológica de la semilla para distintas especies se relaciona con el tamaño de la misma. Otros autores (Shieh y McDonald, 1982; Kelly, 1988) reportan que la calidad fisiológica no depende del tamaño de semilla. Quintana (1992) al estudiar el efecto del tamaño y la forma de la semilla de maíz en la calidad fisiológica, no encontró diferencias significativas en el primero y el último conteo de la prueba de germinación estándar ni en las pruebas de vigor. En tanto que Martinelli y Moreira de Carvalho (1999) al evaluar la influencia del tamaño de semilla de maíz en campo, encontraron que semillas grandes germinaron más rápidamente que semillas pequeñas, resultando 25 días después de la siembra, plantas más altas y posteriormente, mazorcas con mayor número de granos por hilera y mayor rendimiento por unidad de superficie. Estos autores también mencionan que el tipo de híbrido ocasiona respuesta diferente a las variaciones del tamaño de semilla.

En México se han realizado diferentes estudios en maíz para cuantificar el efecto del tamaño de semilla sobre algunas características de calidad de la misma, tanto agronómicas como de rendimiento del grano (Kurdikeri *et al.*, 1998), sin embargo, se consideran limitados los estudios que evalúan estas características en variedades de maíz con potencial para la producción de forraje. La utilización de maíz para forraje es importante en los sistemas de producción pecuaria y mixtos, ya que constituye un componente energético básico para la alimentación animal. Con base en lo anterior se realizó la presente investigación con el objetivo de conocer el efecto del tamaño de semilla en la calidad fisiológica de distintas variedades de maíz con potencial forrajero.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante el 2002, de manera conjunta entre el Colegio de Postgraduados (CP) ubicado en Montecillo, Estado de México, México y el Campo Experimental Valle de México, perteneciente al Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Chapingo, Estado de México. La investigación consistió en dos fases: en la primera se hizo una evaluación y caracterización de la calidad física de la semilla y en la segunda se hicieron pruebas de germinación estándar, de vigor en microtúnel y la evaluación del establecimiento en campo. El diseño experimental en ambas fases fue bloques completos al azar con cuatro repeticiones y arreglo de tratamientos factorial, excepto para la variable de calidad física peso de mil semillas, la cual fue determinada con ocho muestras. Se utilizaron nueve variedades de maíz para forraje: seis híbridos (Promesa, HS-2, H-157, H-135, H-358 y A-791), las variedades sintéticas VS-2000 y VS-22 y el criollo (Campeón).

Caracterización física. Para evaluar la calidad física se realizó una caracterización de la semilla por su forma y tamaño, mediante el uso de cribas. Se consideró como semilla plano grande (PG) aquella que fue retenida por una criba con perforaciones redondas de 8 mm de diámetro (C1), la que posteriormente se pasó a través de una criba con perforaciones oblongas de 5.5 x 19.05 (C2) mm y finalmente se retuvo en una criba oblonga de 5.0 x 19.05 mm (C3). La semilla plano medio (PM) fue tamizada a través de las cribas C1 y C3, pero se detuvo sobre la criba oblonga de 4.75 x 19.05 mm. Enseguida, se hizo la depuración de manera visual con el fin de eliminar semillas con daño mecánico, de insectos, de hongos o con alguna anomalía. Una vez clasificada la semilla, se efectuó la valoración de la calidad física de las variedades. Las variables estudiadas en esta primera etapa fueron: peso de mil semillas (P1000S), peso hectolítrico (PH), longitud (LS), ancho (AS) y espesor de semilla (ES) así como la relación longitud-ancho (RLA) de la semilla.

El P1000S se obtuvo contando y pesando ocho repeticiones de 100 semillas por cada variedad y tamaño. Se calculó el Coeficiente de Variación (CV%) el cual fue menor a 4.0% y el P1000S se obtuvo multiplicando por diez la media aritmética de las ocho repeticiones (ISTA, 1996). Para caracterizar el tamaño de la semilla de cada variedad, se utilizaron muestras de diez semillas tomadas al azar y se midieron las variables LS, AS, ES y RLA. El PH se determinó mediante el método de la probeta con agua, que consistió en pesar muestras de 100 semillas de cada variedad y tamaño las cuales fueron depositadas en una probeta con agua (100 mL); el volumen desplazado por la semilla en la probeta se tomó como dato para el cálculo del PH, utilizando para ello la siguiente ecuación:

Peso Hectolítrico (kg hL^{-1}) = (volumen desplazado/peso de la muestra) x 100

donde:

el peso hectolítrico fue expresado en kg hL^{-1}

Evaluación de la calidad fisiológica en laboratorio. En las pruebas de germinación estándar se utilizó el método de “entre papel” (ISTA, 1999), el cual consistió en colocar sobre una superficie plana dos toallas sanitas® previamente mojadas con agua destilada y acomodar en ellas 25 semillas distribuidas en cinco columnas y cinco hileras. Posteriormente, las semillas se cubrieron con otras dos toallas húmedas, se enrollaron en forma de “taco” y se pusieron a germinar colocándolas verticalmente dentro de bolsas de polietileno transparente en una cámara germinadora de ambiente controlado (Cleland International 1000 FAATR®). Durante la prueba, se mantuvo constante el nivel de temperatura a 25 °C; la evaluación de los tratamientos se realizó a los cuatro y siete días. Los parámetros evaluados fueron: porcentaje de germinación al cuarto (PG4D) y al séptimo día (PGT), en plántulas con raíz y plúmula bien desarrolladas, sanas y sin malformación. El porcentaje de viabilidad (VIA) incluyó plántulas normales y anormales al séptimo día de establecida la prueba. Asimismo, se registró el peso de la plántula (PSP) y de la raíz (PSR), del total de plántulas después de secadas en una estufa a 75 °C durante 72 h (ISTA, 1999).

Evaluación de la calidad fisiológica en microtúnel. Para esta evaluación se utilizaron 25 semillas por tratamiento y repetición, en cada unidad experimental (UE). La siembra se efectuó en semilleros de 4.9 m de largo por 2.1 m de ancho y 24 cm de alto, se utilizó como sustrato suelo de campo sin esterilizar. La UE dentro del semillero fue un surco de 0.85 m de longitud separados a 11 cm y 3.2 cm entre semillas; la siembra fue hecha a una profundidad de 10 cm, con el propósito de someter a la semilla a una condición de estrés se colocó con la “corona” hacia arriba. Se cubrió con el sustrato y se niveló con razadores de madera de 2 cm, obteniéndose así la profundidad deseada. Se regó en el momento de la siembra y después cada tercer día para mantener húmedo el sustrato. El semillero se cubrió con un invernadero móvil tipo “túnel”, con estructura metálica y cubierta de polietileno. Las variables en esta prueba fueron: porcentaje de emergencia (PE) medido al momento en que la emergencia permaneció constante, peso seco de la parte aérea de la planta (PSPA) y del mesocótilo (PSM) así como velocidad de emergencia

(VE). La variable VE fue calculada mediante la fórmula propuesta por Maguirre (Copeland y McDonald, 1995).

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i / n)}{n}$$

donde:

X_i = Número de plántulas emergidas por día

n = Número de días después de la siembra

Establecimiento en campo. Los experimentos de campo se establecieron en dos localidades: Tecámac y Coatlinchán en el Estado de México. Se utilizaron 160 semillas en cada unidad experimental, la cual tuvo una superficie de 19.2 m² (4 surcos de 6 m de largo, distanciados a 80 cm y entre semillas 15 cm, la profundidad de siembra fue de 5 cm). Se evaluó el porcentaje de establecimiento en Tecámac (PECT) y en Coatlinchán (PECSL) a los 30 días de sembrado, cuando la emergencia de plántulas se mantuvo constante. El PEC se estimó como la relación del número de plántulas emergidas/número de semillas sembradas.

Análisis estadístico. La transformación de datos se hizo para cada variable medida en porcentaje, mediante la fórmula: arco seno $\sqrt{X/100}$. Posteriormente, se analizó la varianza mediante el procedimiento de PROC GLM, con el paquete estadístico SAS. Se efectuaron pruebas de comparación múltiple de medias (Tukey $\alpha=0.05$). Las variables P1000S y PH se sometieron a los análisis de regresión lineal simple. Todas las variables de calidad de semilla se analizaron mediante análisis de colinealidad, de varianza multivariada, discriminante canónico y correlaciones canónicas, utilizando los procedimientos PROC REG, PROC REG ALL, PROC MANOVA, PROC CANDISC y PROC CANCECORR del SAS, respectivamente (SAS, 2000).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados

Caracterización física de la semilla. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.01$) para variedades (V) y tamaños de semilla (TS) en todos los parámetros de calidad física estudiados, excepto en ES. En la interacción de variedad por tamaño de semilla (VxTS) se encontró significancia estadística ($p \leq 0.01$) en P1000S, PH, LS y RLA.

La prueba de Tukey estableció diferencias entre las variedades de maíz evaluadas para todas las variables de calidad física (Cuadro 1). La variación observada para el P1000S entre las variedades fue de 221.4 a 427.9 g con una media de 326.7 g. Las variedades H-358, H-157 y VS-22 presentaron los menores promedios en esta variable, mientras que el criollo Campeón y el híbrido Promesa registraron los valores más altos. Respecto al peso hectolítrico (PH), la variación entre variedades fue de 73.9 a 85.5 kg hL⁻¹ con una media de 78.7 kg hL⁻¹, siendo H-157 el de menor peso y VS-2000 el que obtuvo el valor más alto.

Por otra parte, el criollo Campeón, VS-2000 y VS-22 tuvieron los valores más altos de PH, LS y RLA, en comparación con las demás variedades evaluadas (Cuadro 1). Para el caso del AS y ES, la mayoría de las variedades estudiadas registraron valores de 0.7 a 0.8 cm en AS, con una media de 0.7 cm y de 0.3 a 0.4 cm para ES, con una media de 0.4 cm.

En cuanto al efecto del tamaño de semilla, se observó en la mayoría de los materiales, que al emplear semillas de tamaño grande hubo mayor P1000S, PH, LS y RLA, con respecto a semillas de tamaño medio. Esto es, para P1000S se tuvo 348.8 g en tamaño grande y 304.6 g en tamaño medio; PH 80 kg hL⁻¹ y 77.3 kg hL⁻¹ en medio; LS 1.3 cm para tamaño grande y 1.2 cm en la categoría media; RLA 1.6 en simiente grande y 1.5 en tamaño medio.

En cuanto a las combinaciones generadas entre variedades por tamaño de semilla (VxTS), (Figura 1) hubo variación entre los tamaños de semilla grande y medio, donde el criollo Campeón y el híbrido Promesa registraron los valores más altos de P1000S en contraste, con la variedad VS-22 con el menor peso en ambos tamaños. La variación para P1000S fue de 209.6 a 446.6 g, por ello se considera que la clasificación de la semilla por tamaño fue adecuada para diferenciar las variedades. Si se considera el peso hectolítrico (PH) en la combinación de variedad por tamaño de semilla, a diferencia del P1000S se observó que el PH con semilla de tamaño grande fue menor al PH de la simiente de tamaño medio, esto se observó en las variedades VS-2000, A-791 y HS-2. Los híbridos H-358 y H-157 con tamaño medio tuvieron bajos PH sin alcanzar los 75 kg hL⁻¹ que establece la norma de certificación de calidad de semillas para maíz. La variación registrada en las combinaciones fue de 70.9 a 86.3 kg hL⁻¹.

Cuadro 1. Comparación de medias para las variables de calidad física en variedades de maíz para forraje.

Variedad	Variables					
	P1000S (g)	PH (kg hL ⁻¹)	LS (cm)	AS (cm)	ES (cm)	RLA
Campeón	427.9 a	82.3 ab	1.7 a	0.8 a	0.4 a	2.1 a
Promesa	409.8 b	79.6 bcd	1.2 d	0.8 a	0.4 a	1.4 d
H-135	341.9 c	76.6 de	1.2 d	0.8 a	0.4 a	1.5 cd
VS-2000	338.6 c	85.5 a	1.4 b	0.7 b	0.4 a	1.8 b
HS-2	328.5 d	78.2 cd	1.2 d	0.7 b	0.4 a	1.6 c
A-791	327.6 d	74.7 e	1.1 e	0.8 a	0.4 a	1.4 de
H-358	272.8 e	76.9 cde	1.0 f	0.7 b	0.4 a	1.3 e
H-157	272.0 e	73.9 e	1.1 e	0.8 a	0.3 b	1.4 de
VS-22	221.4 f	80.2 bc	1.3 c	0.7 b	0.4 a	1.7 b
Media	326.7	78.7	1.3	0.7	0.4	1.6

P1000S= peso de mil semillas; PH= peso hectolítrico; LS= longitud de semilla; AS= ancho de semilla; ES= espesor de semilla; RLA= relación longitud/ancho de la semilla; Medias con la misma literal en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey, $\alpha = 0.05$).

Referente a la longitud (LS) y a la relación longitud-ancho de la semilla (RLA), en la combinación entre variedad y tamaño (Figura 2) las variedades Campeón, VS-2000 y VS-22 con semilla de tamaño grande, fueron las variedades que registraron los valores más altos de LS y RLA. La variación entre variedades por tamaño de semilla para LS fue de 1.0 a 1.7 cm y para RLA de 1.2 a 2.1.

En los análisis de varianza multivariado (MANOVA), discriminante canónico (CANDISC) y correlación canónica (CANCORR) que se realizaron en esta etapa se excluyeron a las variables RLA y PH, la primera por presentar colinealidad con LS y AS y la segunda porque se empleó en la regresión simple con P1000S. El MANOVA (Cuadro 2) mostró diferencias significativas entre variedades, tamaños

de semilla e interacción variedad por tamaño de semilla ($p \leq 0.0001$), en la calidad física.

En el análisis discriminante canónico se observó que tomando el factor variedad, las dos primeras variables canónicas (CAN1 y CAN2) resultaron significativas y ambas explicaron 91% de la varianza total. Al efectuar el MANOVA para el factor tamaño de semilla, hubo significancia estadística para la calidad física, por ello se realizó el CANDISC. De dicho procedimiento se infirió que el factor tamaño de semilla, en una sola variable CAN1, aglomeró 100% de la variación parcial acumulada y significativa ($p \leq 0.0001$). Para la interacción $V \times TS$, el 96% de la varianza total fue para semilla de tamaño grande y 97% fue para la interacción $V \times TS$ medio. En el caso del

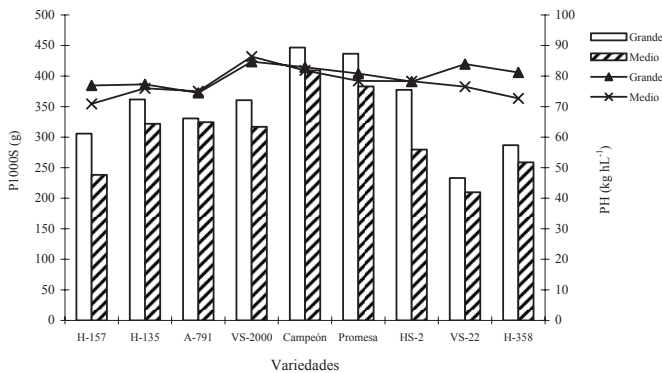


Figura 1. Comportamiento del peso de mil semillas (P1000S) y peso hectolítrico (PH) para la combinación entre variedad por tamaño de semilla.

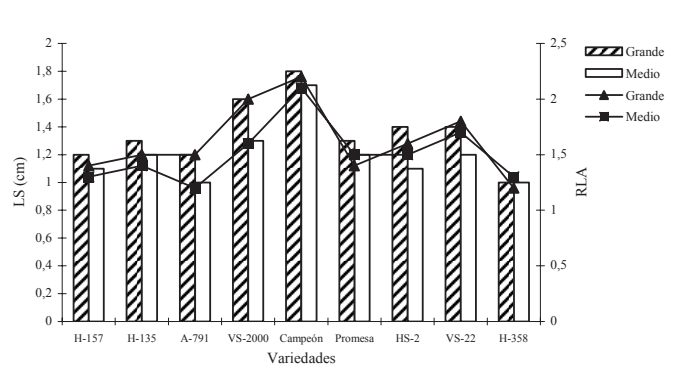


Figura 2. Comportamiento de la longitud de la semilla (LS) y su relación largo-ancho (RL/A) para la combinación entre variedad de maíz por tamaño de semilla.

Cuadro 2. Proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las dos primeras variables canónicas de la calidad física.

Factor	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados			
				P1000S (g)	LS (cm)	AS (cm)	ES (cm)
Variedad (V)	CAN1	0.77	< 0.0001	0.18	1.00	-0.52	0.10
	CAN2	0.14	< 0.0001	0.53	-0.39	-0.27	0.85
Tamaño de semilla (TS)	CAN1	100	< 0.0001	0.0009	0.72	0.78	-0.05
VxTS Grande	CAN1	0.92	< 0.0001	0.009	1.01	0.11	0.21
	CAN2	0.04	0.0008	0.17	-0.02	0.92	0.41
VxTS Medio	CAN1	0.91	< 0.0001	0.11	1.16	0.14	-0.57
	CAN2	0.06	0.0001	-0.01	-0.09	-0.79	0.95

P1000S= peso de mil semillas; LS= longitud de semilla; AS= ancho de semilla; ES= espesor de semilla.

factor variedad, y los coeficientes canónicos estandarizados, se observó que su valor absoluto, para CAN1 las variables LS y AS de la semilla, fueron las relevantes y en CAN2 se le atribuyó importancia a ES y P1000S. En cambio, en el factor tamaño de semilla, las variables de mayor relevancia para diferenciar variedades de maíz con potencial forrajero a través del tamaño de semilla fueron LS (0.7249) y AS (0.7805), mientras que para la interacción VxTS grande y medio, fueron LS y ES en CAN1 y en CAN2 fueron AS y ES.

Evaluación de la calidad fisiológica en laboratorio. En esta evaluación hubo diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$) entre variedades (V) para la mayoría de las variables, excepto

para VIA. Respecto al tamaño de semilla (TS) se obtuvieron diferencias ($p \leq 0.05$) sólo en PSR y en la interacción de variedad por tamaño de semilla (VxTS) hubo significancia ($p \leq 0.05$) en PSP y PSR.

Con la prueba de Tukey para las variables de calidad fisiológica (Cuadro 3) se encontró que, los promedios del híbrido H-358 y la variedad VS-2000 en las variables de PG4D y PGT, sólo diferenciaron a las variedades que mostraron vigor contrastante. Para porcentaje de viabilidad, el híbrido H-135 fue el más sobresaliente con 99% en comparación con VS-2000 con una VIA de 92.3%. En cuanto a los pesos secos de las diferentes estructuras de la planta, el híbrido Promesa presentó los valores más altos en PSP y PSR, seguido del HS-2 y finalmente el VS-22 (Cuadro 3).

Cuadro 3. Comparación de medias para las variables en relación con la calidad fisiológica medidas en condiciones de laboratorio en variedades de maíz para forraje.

Variedad	Variables				
	PG4D (%)	PGT (%)	VIA (%)	PSP (g)	PSR (g)
H-358	90.0 a	91.0 a	97.0 ab	1.1 a	0.7 bc
HS-2	83.5 ab	89.5 a	96.5 ab	1.2 a	0.9 ab
Promesa	82.0 ab	88.5 a	97.0 ab	1.2 a	1.0 a
VS-22	82.0 ab	89.0 a	95.0 ab	1.0 ab	0.8 abc
Campeón	81.5 ab	85.0 ab	97.0 ab	1.1 a	0.9 ab
A-791	81.5 ab	88.5 a	95.0 ab	0.8 ab	0.6 c
H-135	80.5 ab	89.0 a	99.0 a	1.0 ab	0.7 bc
H-157	78.0 ab	85.0 ab	96.0 ab	1.0 ab	0.7 bc
VS-2000	69.5 b	77.0 b	92.3 b	0.8 ab	0.6 c
Media	80.9	86.9	96.0	1.0	0.8

PG4D= porcentaje de germinación al cuarto día; PGT= porcentaje de germinación total; VIA= porcentaje de viabilidad; PSP= peso seco de plántula; PSR= peso seco de la raíz; Medias con la misma letra en cada columna son estadísticamente iguales (Tukey $\alpha = 0.05$).

En la comparación de medias para el tamaño de semilla, en varios materiales se observó, que al emplear semillas de tamaño grande éstas obtuvieron mayor PSR (0.80 g) con respecto a la registrada con semilla de tamaño medio (0.72 g). Al evaluar las combinaciones de las variedades por tamaño de semilla a través de las variables PSP y PSR, se obtuvo mayor acumulación de materia seca en las variedades con semillas de tamaño grande siendo, los híbridos H-157, Promesa y HS-2 los que acumularon mayor peso en las dos estructuras de la planta. En tanto que para el criollo Campeón este resultado fue diferente ya que con semilla de tamaño medio fue mayor el PSP y PSR. La variación observada en las combinaciones para PSP fue de 0.70 a 1.3 g y para PSR de 0.43 a 1.0 g.

En los análisis de varianza multivariado y discriminante canónico que se aplicaron, se excluyó la variable PGT por requerir mayor tiempo para la medición, además de presentar colinealidad con PG4D. El MANOVA detectó diferencias significativas entre variedades ($p \leq 0.001$) para CAN1 y CAN2 y en la interacción de VxTS medio en CAN1, pero no en tamaño de semilla (Cuadro 4). Con el CANDISC, se encontró que el factor variedad en CAN1 y CAN2 explicó 85% de la proporción de la varianza total, mientras que para el tamaño de semilla en CAN1 se acumuló 100% de la varianza. Al considerar las combinaciones de variedad por tamaño de semilla (VxTS) se determinó que en la interacción VxTS grande y medio, el CAN1 y CAN2 explicaron 85 y 86% de la proporción de la varianza total, respectivamente.

Al considerar el factor variedad, los coeficientes canónicos estandarizados para las dos primeras variables canónicas indicaron que con base en su valor absoluto, el PSP y el PG4D en CAN1 y el PSR y PSP en CAN2 fueron las variables de mayor relevancia (Cuadro 4). Se careció de diferencia estadística para tamaño de semilla, sin embargo, los coeficientes canónicos mostraron que las variables más importantes fueron el PSR y el PSP. Asimismo, los coeficientes canónicos estandarizados indicaron que en la interacción de VxTS grande, las variables importantes en CAN1 y CAN2 fueron el PSP y el PSR. Si se toman en cuenta los valores absolutos de las dos primeras variables canónicas, para la interacción VxTS medio al PSR en CAN1 y en CAN2 se le atribuye la mayor importancia en este estudio. Por esta razón, se considera a estas variables más precisas en la diferenciación de variedades de maíz con base en su calidad fisiológica medida en laboratorio.

Evaluación de la calidad fisiológica en microtúnel. En esta evaluación hubo diferencias significativas ($p \leq 0.001$) entre variedades (V) para todas las variables, excepto para tamaño de semilla (TS); para la interacción variedad por tamaño de semilla (VxTS) no hubo significancia ($p \leq 0.05$). La comparación (Cuadro 5), indicó que el criollo Campeón fue el de mejor calidad fisiológica, con mayor VE, PE, PSPA y PSM con valores de 4.1, 98%, 11.3 g y 2.2 g, respectivamente; por el contrario, el híbrido H-358 fue el de menor calidad fisiológica.

Cuadro 4. Proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las dos primeras variables canónicas de la calidad fisiológica en laboratorio.

Factor	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados			
				PG4D (%)	VIA (%)	PSP (g)	PSR (g)
Variedad (V)	CAN1	0.49	0.001	0.52	0.31	0.82	-0.32
	CAN2	0.36	0.04	-0.13	-0.14	-0.50	1.32
Tamaño de semilla (TS)	CAN1	100	0.58	0.04	0.38	-0.65	1.25
VxTS Grande	CAN1	0.49	0.07	0.45	0.34	1.11	-0.71
	CAN2	0.36	0.28	0.16	-0.28	0.26	1.11
VxTS Medio	CAN1	0.58	0.0008	0.40	-0.18	0.20	0.84
	CAN2	0.28	0.18	0.50	0.44	0.63	-0.85

PG4D= porcentaje de germinación al cuarto día; VIA= porcentaje de viabilidad; PSP= peso seco de plántula; PSR= peso seco de la raíz.

Cuadro 5. Comparación de medias para las variables evaluadas para calidad fisiológica en condiciones de microtúnel en variedades de maíz para forraje.

Variedad	Variables			
	VE	PE (%)	PSPA (g)	PSM (g)
Campeón	4.1 a	98.0 a	11.3 a	2.2 a
H-157	3.9 ab	94.0 a	8.8 bcd	1.9 ab
HS-2	3.7 abc	94.5 a	9.3 abc	1.7 abcd
VS-22	3.7 abc	93.0 a	7.6 cde	1.6 bcd
Promesa	3.6 abc	98.0 a	10.4 ab	1.8 ab
VS-2000	3.4 bc	91.5 ab	7.3 cdef	1.5 bcd
A-791	3.1 cd	93.5 a	5.3 f	1.2 d
H-135	3.0 cd	93.0 a	6.8 def	1.8 ab
H-358	2.4 d	83.0 b	5.6 ef	1.2 cd
Media	3.4	93.2	8.0	1.7

VE= velocidad emergencia; PE= porcentaje de emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; PSM= peso seco del mesocótilo; Medias con la misma letra en cada columna son significativamente iguales (Tukey α 0.05).

El MANOVA realizado en esta etapa de investigación, mostró diferencias estadísticas ($p \leq 0.0001$) entre variedades (V), tamaño de semilla (TS) y las interacciones de variedad por tamaño de semilla (VxTS). En el análisis discriminante canónico para variedad (Cuadro 6) se observó, que para el factor variedad las dos primeras variables canónicas resultaron significativas y ambas explicaron 85% de la varianza total; para el tamaño de semilla sólo una variable canónica acumuló 100% de la varianza y en la interacción de VxTS grande y medio, las CAN1 y CAN2 explicaron 93% de la varianza total.

Los coeficientes canónicos estandarizados con base en su valor absoluto, establecieron que para variedad, el PSPA fue determinante en ambas variables canónicas. Para el tamaño de semilla la variable de mayor ponderación entre tamaños de semilla fue el PSPA. Para la interacción de VxTS grande el PSPA en CAN1 y los parámetros VE y PSPA en CAN2 fueron las variables de mayor peso canónico. Asimismo, en la interacción VxTS medio se encontró que en CAN1 el PSPA fue la variable sobresaliente; para CAN2, el PSM así como la VE fueron las variables relevantes para diferenciar las variedades y el tamaño de semilla de maíz para forraje si se considera su calidad fisiológica mediante la prueba de microtúnel.

Cuadro 6. Proporción de la varianza explicada, probabilidad y coeficientes canónicos estandarizados para las dos primeras variables canónicas en la calidad fisiológica de la semilla de maíz para forraje en microtúnel.

Factor	Variable canónica	Proporción de la varianza explicada	Valor de probabilidad	Coeficientes canónicos estandarizados		
				VE	PSPA (g)	PSM (g)
Variedad (V)	CAN1	0.77	<0.0001	0.25	0.78	0.18
	CAN2	0.14	0.0007	-1.06	0.76	-0.08
Tamaño de semilla (TS)	CAN1	1.00	0.83	-0.35	1.25	-0.09
VxTS Grande	CAN1	0.61	<0.0001	0.06	0.82	0.33
	CAN2	0.32	0.02	-1.19	0.63	0.17
VxTS Medio	CAN1	0.71	<0.0001	0.36	0.71	0.11
	CAN2	0.22	0.0004	-0.97	0.03	1.17

VE= velocidad emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; PSM= peso seco del mesocótilo.

Evaluación del vigor de la semilla en campo. Para el porcentaje de establecimiento medido en campo (PEC), en el análisis factorial sólo se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.001$) entre variedades para PEC en las localidades de Tecámac y Coatlinchán. La comparación múltiple de medias, mostró diferencias ($p \leq 0.05$) entre variedades con base en su capacidad para el establecimiento en campo. Sin embargo, el PEC fue insuficiente para diferenciar variedades y separando sólo aquellas de vigor contrastante; este fue el caso de los híbridos H-358 y H-135, sembrados en Coatlinchán (52.1 y 77.9%) y el híbrido H-358 en Tecámac (85.6%), en cambio los materiales Promesa, HS-2, Campeón y VS-22 tuvieron mayor porcentaje de establecimiento en campo, en ambas localidades.

Análisis de correlación canónica entre la calidad física y fisiológica de la semilla. Con frecuencia, en el comercio de semillas se necesita conocer de manera rápida y precisa, la calidad fisiológica de un lote de semilla. En el presente trabajo, el análisis de correlación entre dos o más variables (CANCORR) fue útil pues permitió estudiar el grado de asociación para predecir la calidad de la semilla a partir de

la calidad física, o en conjunto (calidad física y fisiológica) y estimar el comportamiento de la semilla en campo. Las variables PSP y PSM se excluyeron por su colinealidad con PSPA. El análisis de correlación canónica (Cuadro 7) indicó que la LS tuvo mayor asociación con la calidad fisiológica y que el PSPA fue la variable que más contribuyó al explicar el 67% de la calidad de la semilla en condiciones de laboratorio y microtúnel ($p \leq 0.007$).

Análisis de correlación canónica entre la calidad de semilla y el establecimiento en campo. Este análisis se realiza usando las variables de calidad física y fisiológica en relación con el establecimiento de plantas en campo (Cuadro 8), e indicó que el PSPA y P1000S fueron las variables con mayor peso canónico para predecir el establecimiento en campo en la localidad de Tecámac (PECT). En tanto, que para la localidad de Coatlinchán la LS, VE, PSPA y ES fueron las más apropiadas para evaluar el comportamiento en campo (PECSL), esto contribuyó a explicar 100% de la varianza total de la predicción del establecimiento en campo, en ambas localidades ($p \leq 0.09$ y $p \leq 0.0001$).

Cuadro 7. Correlación canónica entre las variables de calidad física y fisiológica.

Variables Canónicas	Variables								
	P1000S (g)	LS (cm)	AS (cm)	ES (cm)	PG4D (%)	VIA (%)	PSR (g)	VE	PSPA (g)
Calidad física									
Física 1	0.15	0.87*	0.23	-0.02					
Física 2	-0.90	0.51	0.50	-0.43					
Calidad fisiológica									
Fisiol 1					-0.16	0.11	0.10	0.37	0.63*
Fisiol 2					0.19	0.71	-0.84	0.93	0.41

P1000S= peso de mil semillas; LS= longitud de semilla; AS= ancho de semilla; ES= espesor de semilla; PG4D= porcentaje de germinación al cuarto día; VIA= porcentaje de viabilidad; PSR= peso seco de la raíz; VE= velocidad emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; *= probabilidad al 0.007.

Cuadro 8. Correlación canónica entre la calidad de semillas con el establecimiento en campo (PEC).

	Variables de calidad de semillas								
	P1000S (g)	LS (cm)	AS (cm)	ES (cm)	PG4D (%)	VIA (%)	PSR (g)	VE	PSPA (g)
PECT	0.62*	-0.10	-0.28	-0.32	-0.11	0.37	-0.12	-0.20	0.81 *
PECSL	-0.08	0.40**	-0.03	-0.31	-0.27	-0.06	0.08	0.37 **	0.34 **

P1000S= peso de mil semillas; LS= longitud de semilla; AS= ancho de semilla; ES= espesor de semilla; PG4D= porcentaje de germinación al cuarto día; VIA= porcentaje de viabilidad; PSR= peso seco de la raíz; VE= velocidad emergencia; PSPA= peso seco de la parte aérea; PECT= porcentaje de establecimiento en campo en Tecámac; PECSL= porcentaje de establecimiento en campo en Coatlinchán; **, * = probabilidad al 0.0001 y 0.09.

Discusión

En diversos estudios realizados tanto en cereales como en leguminosas sobre el tamaño de semilla y su relación con la calidad de la misma, se han obtenido respuestas favorables (Sánchez, 1982); pero son limitados aquellos trabajos en los que se relacione el tamaño de semilla de variedades de maíz para forraje, con parámetros de calidad física y fisiológica.

En esta investigación las variables de calidad física de mayor importancia para clasificar variedades por su tamaño de semilla fueron las medidas de longitud, ancho y espesor y en menor proporción el peso de mil semillas, siendo las más sobresalientes Campeón, VS-2000 y VS-22. Esto difiere con lo señalado por Thomson (1979) quien menciona que el peso de mil semillas es la variable más importante para clasificar el tamaño de semilla. Batistella *et al.* (2002) reportaron la caracterización de variedades de maíz con base en la longitud de semilla, y en cuanto al tamaño, indican que el peso de mil semillas es el más conveniente, independientemente de la variedad. En este estudio, el resultado obtenido se debió a la utilización de semillas de variedades muy uniformes, previamente clasificadas por las empresas semilleras e instituciones de investigación, a excepción del criollo Campeón, en el cual fue posible una mejor clasificación de los tamaños de semilla y en el que también se presentó la mejor respuesta en los parámetros de calidad física.

En la evaluación de la calidad fisiológica en laboratorio mediante la prueba de germinación estándar se encontró que las variables de mayor importancia, con base en el análisis multivariado, fueron el peso seco de la planta y de raíz, parámetros considerados de mayor confiabilidad para diferenciar variedades y tamaños de semilla. Tomando en cuenta estos parámetros, en este estudio los materiales más sobresalientes fueron Promesa, HS-2, criollo Campeón y VS-22. Esto concuerda con lo reportado por Carballo *et al.* (1998) quienes indicaron que el peso seco aéreo y de raíz determinados en laboratorio tienen mayor confiabilidad en la medición de vigor. Asimismo, se observó que el tamaño de semilla también tuvo efecto en el peso seco de la planta y de la raíz, esto se asocia a semillas con un embrión de mayor tamaño y con mayor cantidad de sustancias de reserva, dando como resultado plántulas más grandes y con mayor capacidad para la acumulación de materia seca, cuando germinan en condiciones favorables (Thomson, 1979). Esta respuesta se explica con base en una alta producción de energía en forma de ATP debido a un elevado contenido de proteína en las mitocondrias (McDaniel, 1973).

Por otra parte, se detectó que tanto en variedades como en tamaños de semilla, las variables de mayor predominancia para realizar estimaciones confiables de la calidad fisiológica en condiciones de microtúnel fueron: velocidad de emergencia, peso seco de la parte aérea y del mesocótilo, siendo el criollo Campeón y los híbridos H-157 y Promesa, las variedades más sobresalientes. Estos resultados concuerdan con trabajos previos, en el sentido de que las variables relacionadas con el peso seco producido por las plántulas, son los mejores indicadores de vigor (Hernández, 1998).

Con la finalidad de estimar de manera rápida y precisa la calidad fisiológica de un lote a partir de la calidad física, definida por el peso de 1000 semillas y tamaño (Besnier, 1989) se empleó para ello el análisis de correlación canónica. Tomando en cuenta este análisis, se encontró una asociación estrecha entre LS con PSPA lo cual indica que a semillas de mayor longitud corresponde una cantidad más alta de sustancias de reserva y un embrión de mayor tamaño, lo que podría al mismo tiempo verse reflejado en un incremento en el porcentaje y en la velocidad de emergencia de las plántulas (Wood *et al.*, 1977) y también con la capacidad de realizar el proceso fotosintético de una manera más rápida (Thomson, 1979).

Al evaluar en condiciones de campo la calidad fisiológica mediante el porcentaje de plantas emergidas, el efecto del tamaño de semilla fue nulo, pero sí se manifestó el de variedades en ambas localidades (Tecámac y Coatlinchán). Las diferencias entre localidades y variedades están explicadas por el comportamiento de las mismas durante el establecimiento en campo o por factores adversos en el suelo o ambientales (Perry, 1981) independientemente del tamaño y la densidad de población establecida en campo. En ese contexto, el criollo Campeón y los híbridos Promesa y HS-2 presentaron los más altos PEC en ambas localidades, ubicándose como variedades con buena calidad de semilla.

Finalmente, al llevar a cabo la asociación de las variables de calidad, como parámetros para predecir el comportamiento de la semilla en campo, se encontraron correlaciones significativas entre el peso de mil semillas, longitud de la misma, así como el peso seco de la parte aérea con el establecimiento en campo. Estos resultados indican que al sembrar la semilla de tamaño grande y con mayor peso, se presenta mejor establecimiento en campo, y por ende se refleja en un mayor contenido o acumulación de materia seca de la planta de maíz. Estos resultados concuerdan con

Hernández *et al.* (2000) y Carballo *et al.* (1998) quienes mencionaron que las variables de mayor importancia para predecir el establecimiento en campo son el PSPA, PSR o VE en lo que se refiere a calidad fisiológica.

CONCLUSIONES

La calidad de la semilla de maíz depende más del genotipo de la variedad utilizada que del tamaño de la misma.

El tamaño de la semilla de variedades de maíz con potencial forrajero afectó el peso de mil semillas, longitud, ancho y espesor de la misma y en la calidad fisiológica a la longitud de plántula, raíz y planta total, así como en el peso seco de la raíz.

Los parámetros que más determinaron la calidad física en variedades de maíz con potencial forrajero fueron el peso de mil semillas y la longitud de la misma. Para la calidad fisiológica en laboratorio, los pesos secos de la plántula y de raíz fueron los de mayor relevancia y en microtúnel el peso seco de la parte aérea y la velocidad de emergencia.

En la calidad de semilla las variables más relevantes para la diferenciación de las variedades de maíz fueron la longitud de la misma y el peso seco de la parte aérea, contribuyendo a explicar 67% de la varianza total.

El establecimiento en campo del maíz no fue afectado por el tamaño de semilla (plano grande y medio) sino más bien estuvo determinado por la variedad. Las variables de calidad de semilla más importantes para predecir el establecimiento en campo del maíz con potencial forrajero, fueron el peso de mil semillas, longitud de semilla, velocidad de emergencia y peso seco de la parte aérea.

Las variedades con mayor calidad física y fisiológica de semilla fueron el criollo Campeón, los híbridos HS-2, Promesa y la variedad sintética VS-22.

LITERATURA CITADA

- Basra, A. S. 1995. Seed quality; basic mechanisms and agricultural implications. Basra, A. S. (ed.) Food Products Press. Preface. New York, USA.
- Batistella, F. F.; Moro V., F. y De Carvalho M., N. 2002. Relationships between physical, morphological, and physiological characteristics of seeds developed at different positions of the ear of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Seed Sci. Tech.* 30:97-106.
- Besnier, R. F. 1989. Semillas: biología y tecnología. Mundi-Prensa. Madrid, España. 637 p.
- Carballo C., A.; Hernández G., A.; Hernández L., A. y González C., F. V. 1998. Calidad fisiológica de semilla de maíz y establecimiento en campo. I. Prueba de germinación. Memoria del XII Congreso de Fitogenética. p. 271.
- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1995. Principles of seed science and technology. 3rd. ed. Chapman and Hall. New York, USA. 409 p.
- Faiguenbaum, M. H. y Romero A., L. 1991. Efecto del tamaño de semilla sobre la germinación, el vigor y el rendimiento en un híbrido de maíz (*Zea mays* L.). *Ciencia e Investigación Agraria* 18(3):111-117.
- Hernández, G. A. 1998. Estudio metodológico para estimar índices de vigor en maíz. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 118 p.
- Hernández G., A.; Carballo C., A.; Hernández L., A. y González C., F. V. 2000. Ponderación de variables de calidad fisiológica para la medición del vigor en semillas de maíz. *Rev. Fitotec. Mex.* 23:239-250.
- Hernández L., A. y Carballo C., A. 1997. Pruebas de germinación y vigor en semillas de maíz de diferentes áreas de adaptación. *Agrociencia.* 31(4):397-403.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1996. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech.* 24 (suppl): 243 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech.* 27 (suppl): 333 p.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2005. International rules for seed testing. *Seed Sci. Tech.* 27 (suppl).
- Kelly A., F. 1988. Seed production of agricultural crops. Longman Scientific and Technical-John Wiley and Sons. New York, USA. 227 p.
- Kurdikeri, M. B.; Aswathaiyah, B. and Rajendraprasad, S. 1998. Influence of seed size on field performance in maize hybrids (*Zea mays* L.). *Seed Research* 26(1):23-27.
- Martinelli A. and Moreira de Carvalho, N. 1999. Seed size and genotype effects on maize (*Zea mays* L.) yield under different technology levels. *Seed Sci. Tech.* 27:999-1006.
- McDaniel, R. G. 1973. Genetic factors influencing seed vigor: biochemistry of heterosis. *Seed Sci. Tech.* 1 (1):25-50.

- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3^{ra}. ed. UNAM. México, D. F. 393 p.
- Perry, D. A. 1981. Methodology and application of vigour tests. *In*: Handbook of vigour test methods. Perry, D. A. (ed). International Seed Testing Association. Zurich, Switzerland. p. 3-7.
- Quintana, C. M. 1992. Tamaño de semilla de maíz (*Zea mays* L.) y su relación con la calidad física y fisiológica. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 70 p.
- Sánchez, G. P. 1982. Efecto del tamaño de semilla y la profundidad de siembra en el rendimiento de maíz. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, Estado de México, México. 59 p.
- Statistical Analysis System Institute (SAS SAS/STAT) 2000. Guide for personal computers. Cary, NC. USA. 1028 p.
- Shieh W., J. and McDonald, M. B. 1982. The influence of seed size, shape and treatment on inbred seed corn quality. *Seed Sci. Tech.* 10:307-313.
- Thomson J., R. 1979. Introducción a la tecnología de semillas. Acribia. España. 301 p.
- Wood, D. W.; Longden, C. P. and Scott, K. R. 1977. Seed size variation; its extent, source and significance in fields crops. The Nertherlands. *Seed Sci. Tech.* 5:332-352.