

ATRIBUTOS FÍSICOS Y FISIOLÓGICOS EN SEMILLAS DE MAÍZ Y SU RELACIÓN CON CARACTERES DE VIGOR

[PHYSICAL AND PHYSIOLOGICAL ATTRIBUTES IN MAIZE SEEDS AND THEIR RELATIONSHIP WITH VIGOUR]

Claudia Pérez-Mendoza¹, Ma. del Rosario Tovar-Gómez^{2§}, José Luis Arellano-Vázquez³, Gustavo A. Velásquez-Cárdelas³

¹Programa de Recursos Genéticos, Centro Nacional de Recursos Genéticos, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Jalisco-México. Hasta enero 2014. Actualmente, C.E. Valle de México. ²Programa de Forrajes, Campo Experimental Valle de México, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Estado de México. ³Programa de Maíz, Campo Experimental Valle de México-INIFAP, Estado de México. [§]Autora para correspondencia: (tovar.rosario@inifap.gob.mx).

RESUMEN

El objetivo fue evaluar los atributos físicos y fisiológicos en semillas de maíz para forraje y su relación con caracteres de vigor en plántula. El estudio se realizó en el año 2012 en el Laboratorio de Semillas Ortodoxas del Centro Nacional de Recursos Genéticos adscrito al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Tepatitlán, Jalisco. Se utilizaron semillas de nueve cultivares de maíz en un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. Se evaluó la calidad física de las semillas por la longitud, ancho y espesor; el porcentaje de germinación al cuarto y séptimo día, longitud y peso seco de la parte aérea y de raíz, además del índice de vigor de la plántula total. Hubo diferencias significativas ($p < 0.001$) en la mayoría de las variables excepto en longitud de raíz ($p > 0.05$). Se detectaron correlaciones significativas ($p < 0.001$) entre atributos físicos y fisiológica con caracteres de vigor. El análisis de componentes principales mostró que las variables relevantes para la diferenciación de las variedades de maíz con base en los caracteres de vigor fueron: porcentaje de germinación total, peso seco de la plántula y el peso seco de la raíz, contribuyendo a explicar 61.1% de la varianza total. Los cultivares con alto vigor de crecimiento y desarrollo inicial fueron el H-70, H-80E y VS-22, mientras que los maíces de lento crecimiento y desarrollo inicial fueron los híbridos tardíos H-157E, H-159E y H-161.

Palabras clave: Calidad de semilla, variables relevantes, variedades, *Zea mays*.

ABSTRACT

The objective of the work was to evaluate the physical and physiological attributes in corn seeds and their relationship with vigour characteristics in the seedling. The study was carried out in 2012 at the Orthodox Seed Laboratory of the National Center for Genetic Resources attached to the National Institute of Forestry, Agricultural and Livestock Research (INIFAP), located in Tepatitlán, Jalisco. Seeds of nine maize cultivars were used. The experimental design was completely randomized with four replications. The physical quality of the seeds was evaluated through the length, width and thickness; the germination ($P \leq 0.001$) in most variables except root length ($P \geq 0.05$). Significant correlations were detected ($P \leq 0.001$) between physical and physiological attributes with vigorous characters. Based on the principal component analysis, the most relevant variables for the differentiation of corn varieties based on vigor traits were: percentage of total germination, dry weight of the seedling and dry weight of the root, contributing to explain 61.1% of the total variance. The cultivars with high vigour of growth and initial development were the H-70, H-80E y VS-22, while the slow growing and early development maize were the late hybrids H-157E, H-159E y H-161.

Index words: Seed quality, relevant variables, varieties, *Zea mays*.

INTRODUCCIÓN

En la agricultura, la calidad de semillas es un atributo que puede determinar el funcionamiento de ésta al momento de la siembra o su almacenamiento (Martínez *et al.*, 2010) y, por ende, constituye una de las inversiones más rentables en la economía de todo agricultor (García-Rodríguez *et al.*, 2018). Los componentes de calidad de la semilla se pueden agregar en categorías, donde se menciona la descripción, higiene y su potencial de funcionamiento en este último, se toma en cuenta el vigor y la germinación (Hampton, 2002). En ese contexto, la calidad física de la semilla involucra criterios como el contenido de humedad, pureza física, daño mecánico, apariencia, peso de mil semillas y peso volumétrico, entre otros (Tillmann *et al.*, 2003). El tamaño de semilla también es considerado como un parámetro de la calidad física el cual depende, del genotipo y de las condiciones ambientales en las cuales se han desarrollado las plantas (García-Rodríguez *et al.*, 2018). Algunos autores han reportado que el tamaño de semilla tiene un impacto positivo en el porcentaje de emergencia total (Molatudi y Mariga, 2009), longitud de raíz, peso seco de la plántula (El-Abady, 2015), por lo que el tamaño de semilla (Muniz *et al.*, 2011) está fuertemente correlacionada con la calidad fisiológica.

La calidad fisiológica se puede evaluar a través de las pruebas de germinación estándar las cuales, se realizan normalmente bajo condiciones favorables de temperatura y humedad, motivo por el cual muchas veces los resultados de estas pruebas no corresponden a los resultados obtenidos en campo (Perry, 1984), de esta forma, se ha optado por implementar paralelamente a la germinación, pruebas de vigor para emitir veredictos integrales sobre la calidad fisiológica de un lote de semillas (Martínez *et al.*, 2010). La ISTA (2013) define el concepto de vigor, como la suma de aquellas propiedades que determinan la actividad y el nivel de desempeño de lotes de semillas de aceptable germinación en un amplio rango de ambientes y, esto está relacionado con la tasa y uniformidad de la germinación y el crecimiento de plántulas (Rajjou *et al.*, 2012; Navarro *et al.*, 2015).

Villaseñor (1984) menciona que las pruebas de vigor se dividen en dos tipos: a) directas, las cuales se simulan las condiciones donde pasan las semillas en el campo, con la ventaja que se evalúan todos los factores que afectan el vigor; y b) indirectas, que miden atributos fisiológicos de la semilla y son medidos en el laboratorio y relacionados con el establecimiento en campo (Perry, 1984) aunque, hasta el momento no existe una prueba universalmente aceptada, para evaluar el vigor de las semillas de una determinada especie o de un conjunto de especies (Filho, 2015). Es por ello que se han propuesto diversas pruebas para evaluar el vigor y por razones de operatividad, eficacia y costo, una prueba de vigor debe ser barata, sencilla, cuantitativa, reproducible y correlacionada con la emergencia en campo de la semilla (McDonald, 1980). En ese contexto, Carballo *et al.* (1998) evaluaron la calidad fisiológica de semilla de maíz a través de la prueba de germinación estándar y encontraron, que el peso seco aéreo y de raíz determinados en laboratorio tiene mayor confiabilidad en la medición de vigor. Con base en lo anterior, el objetivo del trabajo fue evaluar los atributos físicos y fisiológicos en semillas de maíz para forraje (*Zea mays* L.) y su relación con caracteres de vigor en plántula.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el segundo periodo del año 2012 en el Laboratorio de Semillas Ortodoxas del Centro Nacional de Recursos Genéticos adscrito al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), ubicado en Tepatitlán, Jalisco. Se evaluaron nueve materiales de maíz para forraje: H-70, H-161, H-80E, H-159E, H-157E, H-143C, HV-65, H-72E y VS-22 mismos, que fueron proporcionados por los Programas de Maíz del Campo Experimental Valle de México (CEVAMEX). Se

utilizó un diseño experimental completamente al azar con cuatro repeticiones. El trabajo de investigación se realizó de la siguiente manera.

Calidad física

Se realizó una depuración de manera visual con el fin de eliminar semillas con daño mecánico, de insectos, de hongos o con alguna anomalía. Una vez seleccionada la semilla, se efectuó la valoración de los atributos físicos de los cultivares de maíz. Las mediciones de las semillas se obtuvieron usando un vernier electrónico, en donde las mediciones de longitud (LS), ancho (AS) y espesor de semilla (ES) se tomaron en cuatro repeticiones de 25 semillas y se registró la información en centímetros (cm).

Calidad fisiológica

La prueba de germinación estándar se llevó a cabo de acuerdo a las normas establecidas por la ISTA (2013), con algunas modificaciones. Se sembraron repeticiones de 25 semillas y se colocaron en toallas sanitas previamente humedecidas, las cuales se enrollaron y posteriormente se acomodaron aleatoriamente en bolsas de plástico y se establecieron en una cámara germinadora marca Seedburo MPG3000/C®, a una temperatura de 25 °C durante siete días. El porcentaje de germinación se determinó con base en el número de plántulas normales, al cuarto día después de la siembra (PG4D) y el cual fue tomado como indicador de vigor; el segundo, se realizó al séptimo día, contando las plántulas normales para determinar el porcentaje de germinación total (PGT).

Para determinar el desarrollo de las plántulas en cinco plántulas normales escogidas en forma aleatoria de cada repetición se les midió, la longitud de parte aérea (LPA) y de raíz (LR) en centímetros (cm). El peso seco de todas las plántulas normales tanto de la parte aérea como de la raíz, se determinaron colocando las muestras en bolsas de papel perforadas, que posteriormente se depositaron por separado en una estufa de secado a 72 °C durante 24 hr. Una vez transcurrido el tiempo se pesaron, reportando en gramos (g). Estos parámetros se han considerado como indicadores de vigor tal y como lo indica Carballo *et al.*, (1998). Adicionalmente, se calculó el índice de vigor de plántula total (IVP⁻¹), multiplicando el porcentaje de germinación total y la longitud de plántula de acuerdo, a la fórmula sugerida por Abdul-Baki y Anderson (1973):

$$\text{IVP}^{-1} = \text{longitud de plántula total (cm)} \times \text{porcentaje de germinación total}$$

Para hacer el análisis estadístico, de las diferentes variedades de maíz en donde se registraron datos en porcentaje de cada una de las variables de germinación estos, fueron transformados mediante la fórmula arco seno $\sqrt{X}/100$. Posteriormente, se realizaron los análisis de varianza respectivos mediante el procedimiento de modelos generalizados (GLM) y para las variables que resultaron significativas se efectuó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (5%; SAS versión 9.4). Adicionalmente se realizó una prueba de correlación de Pearson y la caracterización de los cultivares de maíz con base en la germinación y sus caracteres de vigor en plántula se realizó utilizando la técnica multivariada de componentes principales (Johnson *et al.*, 1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo al análisis de varianza se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.001$) en los nueve materiales de maíz para las dimensiones de la semilla como son: longitud, ancho y espesor (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables medidas en la calidad física en los cultivares de maíz con potencial forrajero.

Factor de variación	Variables [†]		
	LS (cm)	AS (cm)	ES (cm)
Cultivares	0.12**	0.01**	0.002**
CV (%)	2.97	2.61	4.58
R ²	0.97	0.91	0.63

[†]LS = longitud de semilla, AS = ancho de semilla, ES = espesor de semilla. ** $p < 0.001$; C.V. = Coeficiente de variación (%), R² = Coeficiente de determinación.

En ese contexto, la prueba de Tukey para la LS mostró un rango de 0,98 a 1,58 cm, donde VS-22 (1,58 cm) la variedad más sobresaliente seguido por H-70 (1.37 cm), mientras que H-143C fue el que registró la menor LS con 0.98 cm (Figura 1); el AS osciló de 0.75 a 0.93 cm siendo H-159E el de mayor AS y el de menor AS fue para H-64E y en el ES los valores oscilaron de 0.44 a 0.51 cm sobresaliendo H-70 en este parámetro (Figura 1) lo cual coincide a lo reportado por Pérez *et al.* (2006) que registraron en cultivares de maíz con potencial forrajero valores de LS de 1.0 a 1.7 cm, AS de 0.7 a 0.8 cm y ES de 0.3 a 0.4 cm, respectivamente (Figura 1).

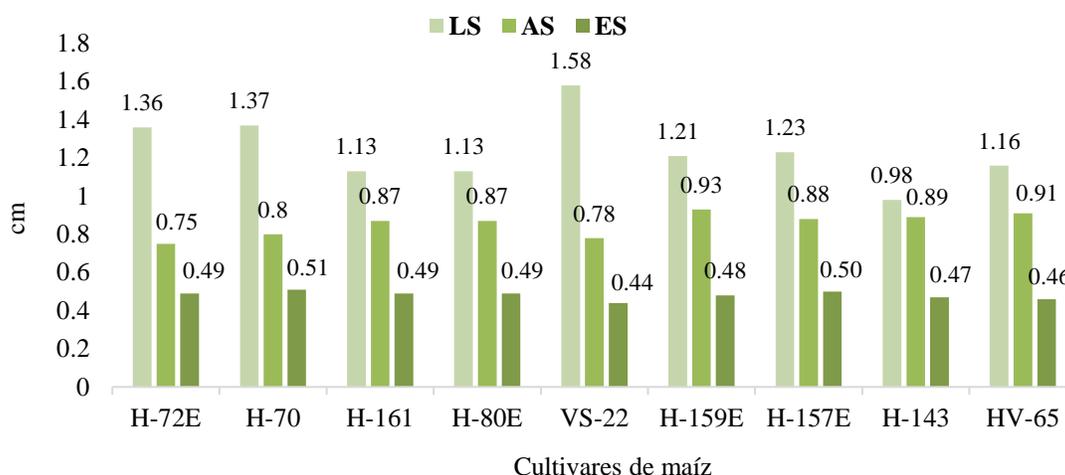


Figura 1. Comparación de medias para las variables de calidad física en los cultivares de maíz con potencial forrajero evaluados.

El análisis de varianza para la fuente de variación de cultivares de maíz indicaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en las variables: porcentaje de germinación al cuarto y séptimo día, longitud y peso seco de la parte aérea, peso seco de raíz, índice de vigor de plántula total, excepto en longitud de raíz ($p > 0.05$) (Cuadro 2) lo cual, se podría atribuir a la constitución genética de las semillas de cada variedad de maíz el cual es decisivo para su desempeño germinativo tal y como lo señala Estrada *et al.* (1999).

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables medidas en la calidad fisiológica en los cultivares de maíz con potencial forrajero.

Factor de variación	Variables [†]						
	PG4D (%)	PGT (%)	LPA (cm)	LR (cm)	PSPA (g)	PSR (g)	IVP ⁻¹
Cultivares	207.11**	69.44*	7.03*	20.28ns	0.016**	0.0002**	483306.47*
CV (%)	6.91	4.35	17.00	31.5	6.79	9.04	19.12
R ²	0.71	0.60	0.61	0.37	0.94	0.89	0.58

[†]PG4D y PGT = porcentaje de germinación al cuarto y séptimo día; LPA = longitud de la parte aérea, LR = longitud de raíz; PSPA = peso seco de la parte aérea, PSR = peso seco de raíz; IVP⁻¹ = índice de vigor de plántula total. ** $p < 0.001$; * $p < 0.05$; ns = no significativo, C.V. = Coeficiente de variación (%), R² = Coeficiente de determinación.

En el Cuadro 3 se observa que en el porcentaje de germinación a los cuatro días (PG4D), del cual se obtiene información con respecto a la capacidad que tiene la semilla para producir una plántula normal, los híbridos H-80E y H-70 presentaron 87% de germinación, superando estadísticamente a los cultivares H-159E, H-157E, H-143C y HV-65, los cuales obtuvieron 76, 73, 70 y 68%, respectivamente; este resultado quizás se pueda atribuir a la respuesta fisiológica de esos híbridos de ciclo tardío y lento crecimiento de plántula y raíz (Dr. José Luis Arellano Vázquez. Comunicación personal, 2018).

Cuadro 3. Comparación de medias para las variables de calidad fisiológica en los cultivares de maíz evaluados.

Cultivares	Variables [†]					
	PG4D (%)	PGT (%)	LPA (cm)	PSPA (g)	PSR (g)	IVP ⁻¹
H-72E	87 a	94 a	7.28 b	0.255 c	0.030 c	1752.1 b
H-70	87 a	100 a	7.68 b	0.295 b	0.043 a	2027.5 b
H-161	84 a	90 ab	6.30 b	0.259 c	0.032 c	1324.2 b
H-80E	83 a	94 ab	9.35 ab	0.354 a	0.039 ab	2184.4 a
VS-22	79 b	98 ab	9.50 a	0.253 c	0.045 a	2068.0 b
H-159E	76 b	89 b	6.23 b	0.347 a	0.029 c	1601.3 b
H-157E	73 b	87 b	6.58 b	0.319 b	0.025 d	1337.5 b
H-143C	70 b	94 ab	6.55 b	0.174 d	0.028 c	1810.1 b
HV-65	68 c	92 ab	9.05 ab	0.189 d	0.033 b	2265.1 a
Media	79	93	7.61	0.271	0.033	1818.9
DMSH (Tukey $\alpha = 0.05$ %)	13.05	9.73	3.11	0.044	0.0073	836.0

[†]PG4D y PGT = porcentaje de germinación al cuarto y séptimo día; LPA = longitud de la parte aérea; PSPA = peso seco de la parte aérea, PSR = peso seco de raíz; IVP⁻¹ = índice de vigor de plántula total. DMSH = Diferencia mínima significativa honesta (Tukey, $p < 0.05$).

Respecto a la variable PGT se observó que la mayoría de los materiales se ubicaron por arriba de la media que fue de 93% de germinación excepto en los híbridos H-159E y H-157E que registraron PGT abajo de la media, lo que indica que están dentro del estándar de calidad establecido por el Sistema Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) para las diferentes categorías en la producción de híbridos y variedades de maíz de polinización libre comerciales (SNICS, 2013).

Tomando en cuenta las variables que determinan el vigor como es el caso de la longitud de la parte aérea (LPA) está varió de 6.23 a 9.50 cm, sobresaliendo la variedad VS-22 (9.50 cm) y los híbridos H-80E (9.35 cm) y HV-65 (9.05 cm) mientras que el híbrido H-159E (6.23 cm) fue el que registró la menor LPA (Cuadro 3). Esto indica que las poblaciones evaluadas presentan diferencias genotípicas, según lo señalado por

Moreno (1996), quien menciona que, en la prueba de desarrollo y evaluación de las plántulas, diferentes genotipos pueden diferir en la velocidad del desarrollo de las plántulas.

En cuanto a los pesos secos de la parte aérea y de raíz que son otros parámetros que determinan el vigor de la semilla, se observó que los valores oscilaron de 0.174 a 0.347 g en PSPA y de 0.025 a 0.045 g para PSR (Cuadro 3). En ese contexto, se observó que los híbridos H-80E, H-159E y H-157E fueron los más sobresalientes en el PSPA mientras que para el peso seco de la raíz (PSR) los materiales VS-22, H-70 y H-80E fueron los de mayor PSR (este carácter es fundamental en siembras de temporal o deficiencia de humedad en el suelo) mientras que H-161, H-157E y H-159E que son de ciclo tardío presentaron el valor menor de PSR, lo cual corrobora su lento crecimiento y desarrollo inicial en campo. Estos resultados concuerdan con lo reportado en la literatura, en donde se indica que las variables relacionadas con el peso seco producido por las plántulas son los mejores indicadores de vigor (Villaseñor, 1984; Carballo *et al.*, 1998).

El índice de vigor de plántula total (IVP⁻¹) osciló de 1342.2 a 2265.1, siendo los materiales HV-65, H-64E, VS-22 y H-70 los que registraron los mayores valores en el IVP⁻¹ esto indica que dichos cultivares de maíz mantuvieron su superioridad por tener una rápida germinación así como en los caracteres de vigor evaluados en plántula en comparación a los híbridos H-157E y H-161 que registraron el menor IVP⁻¹ por lo que es un parámetro importante, para estimar la calidad del lote y comparar cuantitativamente diferentes lotes de semillas (Rodríguez-Guilón *et al.*, 2008).

Se observaron asociaciones entre los diferentes caracteres físicos y de vigor en plántulas de maíz. En ese contexto, las variables de calidad física se asociaron de forma positiva y significativa entre LS y PGT ($r=0.38$; $p<0.05$), LS y PSPA ($r=0.41$; $p<0.05$), LS y PSR ($r=0.74$; $p<0.001$), AS y LPA ($r=0.36$; $p<0.05$), AS y PSPA ($r=0.33$; $p<0.05$), ES y PSPA ($r=0.33$; $p<0.05$), lo cual indica que a mayor tamaño de semilla hay una mayor PGT, LPA y PSPA, lo que podría estar está relacionado con un mayor contenido de carbohidratos y otros nutrientes (Ambika *et al.*, 2014) y con la presencia de células más grandes (Finch-Savage y Bassel, 2016), por lo que es un buen indicativo de mayor vigor (Pérez de la Cerda *et al.*, 2007). Se observaron también, correlaciones entre los porcentajes de germinación (PG4D y PGT) con los caracteres de vigor en plántula (LPA, LR, PSPA y PSR), se encontraron asociaciones positivas y significativas entre PGT y PSR ($r=0.60$; $p<0.001$), PGT y IVP⁻¹ ($r=0.51$; $p<0.001$), LPA y PSPA ($r=0.48$; $p<0.001$), LPA y IVP⁻¹ ($r=0.46$; $p<0.001$), PSR y IVP⁻¹ ($r=0.49$; $p<0.001$), lo cual indica que a mayor porcentaje de germinación hay mayor LPA, PSPA y PSR. Resultado similar obtuvieron Estrada *et al.* (1999), quienes encontraron una relación directa entre la longitud de plántula y el peso seco, confirmando que a mayor longitud correspondió un mayor peso seco.

Por lo que se puede inferir en este estudio que los caracteres de calidad fisiológica de semillas evaluados en laboratorio, son parámetros importantes que deben ser utilizados en los programas de mejoramiento ya que proporcionan a los mejoradores información sobre la emergencia, establecimiento en campo y capacidad competitiva en diversas condiciones de siembra tal y como lo señala Ruiz-Torres *et al.* (2012).

Por otra parte, en el análisis de componentes principales se observa en el Cuadro 4, que los valores propios de la matriz de correlación indicaron que los componentes principales 1 (CP 1) y 2 (CP 2) aglutinaron el 61.6% de la varianza experimental (37.3 y 23.8%, respectivamente); por lo tanto, el procedimiento fue robusto (Baíllo y Grané, 2007).

Cuadro 4. Contribución de las variables a los ejes del análisis de la calidad física y fisiológica, en cultivares de maíz usando la técnica multivariada de componentes principales.

Variables	Ejes					
	1	2	3	4	5	6
% de la variación	37.3	23.8	11.1	10.2	6.9	4.1
% acumulado de la variación	0.37	0.61	0.72	0.82	0.89	0.93
LS	0.41	0.19	-0.15	-0.33	0.13	0.09
AS	-0.41	-0.23	-0.007	0.09	0.09	0.53
ES	-0.10	0.40	0.47	0.28	0.46	-0.35
PG4D	0.17	0.45	0.08	0.47	0.005	0.40
PGT	0.36	-0.07	-0.07	0.54	-0.32	0.21
LPA	0.32	-0.08	-0.37	-0.07	0.77	0.20
LR	0.19	-0.44	0.58	-0.04	-0.01	0.01
PSPA	0.09	0.40	0.39	-0.51	-0.06	0.44
PSR	0.47	0.06	-0.05	-0.17	-0.09	-0.33
IVP ⁻¹	0.35	-0.40	0.32	0.05	0.19	0.13

† LS = longitud de semilla, AS = ancho de semilla; ES = espesor de semilla; PG4D y PGT = porcentaje de germinación al cuarto y séptimo día; LPA = longitud de la parte aérea, LR = longitud de raíz; PSPA = peso seco de la parte aérea, PSR = peso seco de raíz; IVP⁻¹ = índice de vigor de plántula total.

Las variables de mayor relevancia en este estudio conforme a los componentes principales fue la longitud y ancho de la de semilla (LS y AS), peso seco de la raíz (PSR), porcentaje de germinación total (PGT), índice de vigor de plántula total (IVP⁻¹) que se asociaron en el primer componente principal (CP1), el espesor de la semilla (ES), porcentaje de germinación (PG4D), peso seco de plántula (PSP), la longitud de raíz y con el IVP⁻¹ se asociaron en el segundo componente (cuadrante II), lo que coincide con lo reportado por Pérez *et al.* (2006), quienes aducen que las variables de longitud y el espesor de la semilla, peso seco de la parte aérea y el porcentaje de establecimiento en campo, son las variables de mayor relevancia para la medir el vigor en semillas de maíz.

En la representación bidimensional de los componentes principales (Figura 2) se apreció que en el grupo I se encuentra ubicados los cultivares H-64E, H-70 y VS-22. Este grupo presenta los mayores valores de LS, PGT, PSPA y PSR de todos los grupos.

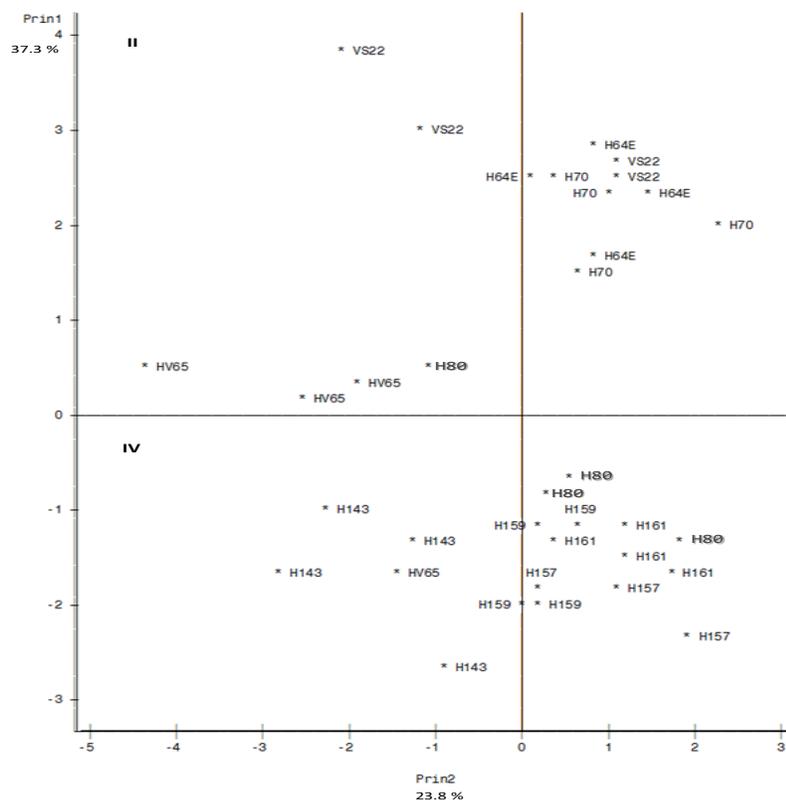


Figura 2. Análisis de la calidad física y fisiológica de nueve cultivares de maíz con base en el análisis de componentes principales.

El grupo II estuvo constituido por los híbridos HV-65 y H-80E y este grupo representa los valores intermedios de PGT, PSPA y PSR. El grupo III está integrado por los híbridos H-159E, H-161 y H-157E. El grupo IV está integrado por el híbrido H-143C el cual, registró los menores valores en el PG4D, PSP y de PSR.

CONCLUSIONES

Los atributos físicos y fisiológicos como la longitud de semillas, el peso seco de la parte aérea y peso seco de raíz fueron los caracteres de vigor sobresalientes para evaluar la calidad física y fisiológica en semillas de maíz de origen Valles Altos del Estado de México.

El análisis de componentes principales determinó que las variables con mayor variación para la diferenciación de las nueve variedades de maíz con potencial forrajero fueron: longitud de la semilla, porcentaje de germinación total, peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz, respectivamente.

Los cultivares de maíz con potencial forrajero con mejor calidad física en la semilla fueron: VS-22, H-64E y H-70, mientras que los cultivares con alto vigor de crecimiento y desarrollo inicial fueron el H-70, H-80E y VS-22 y los maíces con lento crecimiento y desarrollo inicial fueron los híbridos tardíos H-157E, H-159E y H-161.

Los caracteres de calidad física y fisiológica de semillas evaluados en laboratorio, son parámetros importantes que deben ser utilizados en los programas de mejoramiento ya que proporcionan información sobre la emergencia, establecimiento en campo y capacidad competitiva en diversas condiciones de siembra.

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), por el apoyo económico brindado a través del proyecto titulado (Núm. de Proyecto SIGI: 135260688): “Mejoramiento Genético de Maíz para Forraje de Alta Productividad y Valor Nutricional”.

LITERATURA CITADA

- Abdul-Baki, A.A. and J. D. Anderson. 1973. Vigor determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science* 13: 630-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>.
- Ambika, S., V. Manonmani and G. Somasundaram. 2014. Review on effect of seed size on seedling vigour and seed yield. *Research Journal of Seed Science* 7:31-38. DOI: 10.3923/rjss.2014.31.38.
- Baíllo, M. A. y C. A. Grané 2007. 100 Problemas resueltos de estadística multivariante (Implementados en Matlab). Delta. Madrid, España. 193 p.
- Carballo, C. A., A. Hernández, G.A. Hernández, L. y F.V.C. González. 1998. Calidad fisiológica de semilla de maíz y establecimiento en campo. I. Prueba de germinación. Memoria del XII Congreso de Fitogenética. p 271.
- El-Abady, M. I. 2015. Influence of maize seed size/shape, planted at different depths and temperatures on seed emergence and seedling vigor. *Research Journal of Seed Science* 8:1-11. DOI: 10.3923/rjss.2015.1.11.
- Estrada, G.J.A., A. Hernández, L.F. Hernández, O.A.C. Carballo y F.V.C. González. 1999. Tipos de endospermo en maíz y su relación con la calidad de la semilla. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 22: 99-109.
- Finch-Savage, W. E. and W. G. Bassel. 2016. Seed vigour and crop establishment: extending performance beyond adaptation. *Journal of Experimental Botany* 67:567-591. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv490>
- García-Rodríguez, J.J., M.A. Ávila-Perches, F.P. Gámez-Vázquez, M. de la O-Olán y J.A. Gámez-Vázquez. 2018. Calidad física y fisiológica de semilla de maíz influenciada por el patrón de siembra de progenitores. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 1: 31-37. <https://doi.org/10.35196/rfm.2018.1.31-37>
- Hampton, J. G. 2002. What is seed quality? *Seed Science and Technology*. 30:1-10.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2013. International rules for seed testing. *Seed Science and Technology*. 430 p.
- Johnson, R. A. and W.P. Wichern. 1982. Principal Components. *En: Applied Multivariate Statistical Analysis*. pp. 356-395. Third edition. Prentice Hall. New Jersey, USA.
- Martínez, S.J., J.V. Virgen, M.G.O. Peña y A.R. Santiago. 2010. Índice de velocidad de emergencia en líneas de maíz. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 1: 289-304.
- McDonald, M.B.Jr. 1980. Assessment of seed quality. *HortScience*. 15(6):784-788.
- Molatudi, R. L. and I.K. Mariga. 2009. The effect of maize seed size and depth of planting on seedling emergence and seedling vigour. *Journal of Applied Sciences Research* 5:2234-2237.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de las semillas agrícolas. Tercera Edición. Instituto de Biología UNAM. México, D.F. pp. 237-303.
- Muniz, M.F.B., O. B. Bastos, A.C. Wartha, T.D. Cocco, F.T.S. Fruet y C.L.I. Silva. 2011. Relação entre tamanho e potencial fisiológico de sementes de milho crioulo. *Cuadernos de Agroecología* 6:1-4.
- Navarro, M., G. Febles, S. R. Herrera. 2015. El vigor, elemento indispensable de la calidad de las semillas. *Cuban Journal Agricultural Science*. 49: 447-458.
- Pérez de la Cerda, F.J., A. Carballo, C.A. Santacruz, V.A.L. Hernández y J.C.M. Molina. 2007. Calidad fisiológica en semillas de maíz con diferencias estructurales. *Agricultura Técnica de México*. 33: 53-61.
- Pérez, M.C., A.L. Hernández, F.V. González, C.G. García, S.A. Carballo, C.T.R. Vásquez y M.R.G. Tovar. 2006. Tamaño de semilla y relación con su calidad fisiológica en variedades de maíz para forraje. *Agricultura Técnica de México*. 32: 341-352.

- Perry, D.A. 1984. Manual de métodos de ensayo de vigor. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 56 p.
- Rajjou, L., M. Duval, K. Gallardo, J. Catusse, J. Bally, C. Job and D. Job. 2012. Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology* 63:507-533. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042811-105550>.
- Rodríguez-Quilón, I., G. Adam y J. M. Durán. 2008. Ensayos de germinación y análisis de viabilidad y vigor en semillas. *Agricultura: Revista Agropecuaria*, 78: 836-842.
- Ruiz-Torres, N.A., F. Rincón-Sánchez, V.M. Bautista-Morales, J.M. Martínez-Reyna, H.C. Burciaga-Dávila y M. Olvera-Esquivel. 2012. Calidad fisiológica de semilla en dos poblaciones de maíz criollo mejorado. *Agraria* 9: 43-48.
- Statistical Analysis System (SAS). 2015. SAS/STAT 9.4 User's guide. SAS Institute Inc. Cary, NC, USA. n/p.
- Servicio Nacional de Inspección y certificación de semillas (SNICS). 2013. Regla para la calificación de semilla de maíz (*Zea mays* L.). 33 p. [Consultado: 04/04/2019]. Disponible en: <http://snics.sagarpa.gob.mx/certificacion/Documents/2015/Reglas/Maiz.pdf>.
- Thomson, J.R. 1979. Introducción a la Tecnología de Semillas. Ed. Acribia. España. 301 p.
- Tillmann, M.A.A., D.C. de Mello e R.M.G. Rota. 2003. Análise de semenes. *En: Sementes: Fundamentos Científicos e Tecnológicos*. T. S. Peske, M. D. Rosenthal e G. R. M. Rota (ED.), pp 138-223. Editora Rua. Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil.
- Villaseñor, M.H.E. 1984. Factores genéticos que determinan el vigor en plántulas de maíz. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio Postgraduados. Chapingo, México. 149 p.