

NOTA TÉCNICA

RELACIÓN ENTRE PRUEBAS EN LABORATORIO E INVERNADERO Y LA EMERGENCIA EN CAMPO EN MAÍZ¹

**Carlos Eduardo Bolívar², Jesús Rafael Méndez Natera³,
Víctor Alejandro Otañola Gómez³**

RESUMEN

Relación entre pruebas en laboratorio e invernadero y la emergencia en campo en maíz. El objetivo del presente trabajo fue determinar la relación entre pruebas de germinación y la emergencia en el campo. Se evaluaron nueve lotes de semillas de cultivares de maíz, en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones. Las variables fueron correlacionados para estudiar el vigor de los lotes de semillas y la relación entre las variables medidas en arena (invernadero) y en cámara de germinación (laboratorio) en el *Campus* Juanico de la Universidad de Oriente en octubre 2003, con el comportamiento de la germinación en el campo a los 16 días después de la siembra en el *Campus* Los Guaritos entre octubre y noviembre 2003. Se efectuó un análisis de correlación lineal de Pearson entre pares de variables y un análisis de regresión múltiple paso a paso. Sólo hubo una correlación significativa y positiva ($p \leq 0,10$) entre el peso seco del vástago en campo (rendimiento de biomasa) con la germinación obtenida en el laboratorio ($r = 0,306$). Ninguna de las variables (laboratorio e invernadero) tuvo una relación significativa con la emergencia en el campo, mientras que el análisis de regresión paso a paso estimó un modelo con un R^2 de 53 % cuando se utilizaron 16 variables. Ningún modelo (individual o combinado) predijo la emergencia y el vigor en campo de los diferentes lotes de semillas.

Palabras clave: *Zea mays*, modelos de correlación y regresión, calidad de semilla.

ABSTRACT

Relation among laboratory and greenhouse tests and field emergence in nine corn seed lots. The objective of this work was to evaluate the relation between seed germination tests and seedling emergence in the field. Nine seed lots of different corn cultivars were evaluated using a randomized complete blocks with four replications. All evaluated parameters were correlated to study the vigor of seed lots and the relation among traits measured in sand (greenhouse) and germination chamber (laboratory) at the *Campus* Juanico of Universidad de Oriente (UDO) in October 2003, with germination in the field at 16 days after sowing at the *Campus* Los Guaritos of UDO between October and November 2003. A linear correlation analysis of Pearson between pairs of characters was made. A stepwise regression analysis was also carried out. There was only one significant and positive correlation ($p \leq 0.10$) between shoot dry weight in the field (biomass yield) with germination obtained in the laboratory, although this correlation was low ($r = 0.306$). On the other hand, none of the characters (laboratory and greenhouse) had a significant relation with field emergence, whereas the step-wise regression analyses estimated a model with a R^2 of 53 % when 16 evaluated characteristics were used. According to these results, it was concluded that no model is suitable to predict the emergence and vigor of different corn lots in the field.

Key words: *Zea mays*, correlation and stepwise regression, seed quality.

¹ Recibido: 13 abril, 2007. Aceptado: 30 de noviembre, 2007.

² Departamento de Ciencias, Unidad de Estudios Básicos y Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo Monagas. Universidad de Oriente. Avenida Universidad. Campus Los Guaritos. Maturín, 6201. Monagas, Venezuela. carlosebolivar@cantv.net; jmendezn@cantv.net y votahola@cantv.net

INTRODUCCIÓN

En Venezuela, el maíz es uno de los principales productos de la dieta básica y de reconocido consumo masivo, particularmente como harina precocida. Dada la importancia social y económica que representa este cultivo, se hace necesario realizar trabajos y programas de investigación en producción de semillas, que permitan la evaluación e identificación de la calidad de las mismas en cuanto a su germinación y vigor de manera que garanticen un buen rendimiento y productividad de dicho rubro (Martínez 1999).

Para que la germinación pueda tener lugar, deben cumplirse tres condiciones, la semilla debe estar viable (el embrión debe estar vivo y capaz de germinar); condiciones internas deben ser favorables para la germinación y tercera, la semilla debe estar expuesta a condiciones ambientales (agua, temperatura apropiada, provisión de oxígeno y a veces luz) (Hartman y Kester 1975). El vigor es una propiedad fisiológica determinada por el genotipo y modificada por el ambiente, el cual gobierna la habilidad de la semilla para producir plantas en el suelo y el grado al cual estas semillas toleran un rango de factores ambientales (Perry 1972).

La calidad de la semilla vendrá determinada por aspectos genéticos y ambientales. Variables de la calidad de las semillas son el poder germinativo, tamaño, contenido de humedad, edad, presencia de organismos fitopatógenos transmisibles por semillas y pureza, materiales inertes y semillas de otras especies. Así una semilla que ha sido conservada durante bastante tiempo con alto grado de humedad y de tamaño inferior al normal de la especie, tendrá un bajo poder germinativo (Cubero y Moreno 1983).

Algunos investigadores indicaron que los niveles del contenido de humedad de la semilla están muy relacionados con los procesos fisiológicos y bioquímicos, así la pérdida de viabilidad y germinación en almacenamiento envuelve reacciones cuyas tasas son controladas por los niveles de hidratación de los componentes de la semilla y la temperatura ambiental (Cordero y Oliveros 1983). La manifestación de diferencias

en el vigor depende de una interacción entre la semilla y su medio. Cuando las condiciones son favorables, la germinación en el campo es buena y se aproxima a la germinación en el laboratorio, aunque cuando hay "stress" sobre la semilla, la relación declina (Perry 1972). Kittock y Law (1968), afirmaron que la emergencia en el campo y el vigor decrecen con la edad de la semilla, aunque eso no se refleja en el porcentaje de germinación.

La prueba de vigor es considerada una importante herramienta para tomar decisiones sobre cuáles lotes de semillas vender o comprar. El concepto de vigor es de vital importancia para las semillas comerciales porque dos lotes con el mismo vigor, podrían mostrar variaciones significativas cuando son plantadas en condiciones de estrés (ISTA 1987). Ríos (1996), estudiando la relación entre pruebas de germinación y vigor en laboratorio con la emergencia de plántulas de frijol (*Vigna unguiculata* (L) Walp), no observó relación entre las pruebas de laboratorio, sino entre variables de una misma prueba, a excepción del porcentaje de germinación a los 3 dds en cámara de envejecimiento acelerado (CEA), el cual se correlacionó significativa y positivamente con el porcentaje de germinación en arena a los 4 dds. El análisis de regresión (paso a paso) permitió seleccionar variables de cámara de germinación (CG) y cámara de envejecimiento acelerado (CEA), como variables independientes para predecir la emergencia de plántulas de frijol en el campo.

En relación al establecimiento en el campo y la germinación en el laboratorio, el uso de la prueba de germinación a 10 °C fue más informativa que la prueba standard, en distinguir entre el potencial de emergencia en el campo de diferentes lotes de semillas de zanahorias (*Daucus carota* L) Hegarty (1971) bajo ciertas condiciones de campo similares establecidas en la estación en el este de Escocia, es posible usar este porcentaje de germinación para una estimación más precisa de la cantidad a sembrar para establecer una población específica de plantas.

Estudios de la emergencia en el campo y el vigor de la semilla determinados por métodos de

germinación standard, envejecimiento acelerado, conductibilidad eléctrica, volumen y peso, comparados en 12 lotes de garbanzo, mostraron diferencias significativas para lotes de semillas para las distintas pruebas de laboratorio empleadas (Ram *et al.* 1989). La germinación standard, la prueba de envejecimiento acelerado, estuvieron positiva y significativamente correlacionadas con los valores de emergencia de plántulas después de los 10, 15 y 20 días. Estas mismas pruebas estuvieron positiva y significativas y correlacionadas con el volumen y peso de 1.000 semillas. Wilson, citado por Vilorio (2005), desarrolló un experimento con 98 lotes comerciales de maíz dulce (Shrunken-2) para investigar la relación de valores de semillas individuales y su probabilidad de sobrevivencia en el campo o en la prueba de germinación estándar. La μA promedio para cada semilla evidencia un incremento en el caso de la emergencia en el campo, la cual es descrita por la función $f(X_i)$ como una línea recta. Para la germinación en el laboratorio, sin embargo, no se pudo discernir un modelo apropiado, posiblemente debido a que la prueba de germinación estándar no funcionó para el cultivo de maíz utilizado.

El objetivo fue determinar la relación entre pruebas de germinación de semillas y crecimiento de plántulas a nivel de laboratorio e invernadero con la emergencia y vigor en campo en nueve lotes de semillas de cultivares de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Laboratorio de Producción de Semillas y en el Invernadero del Centro de Postgrado, en Juanico, Maturín en octubre, 2003 y en el campo experimental de la Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín entre octubre y noviembre 2003.

Se utilizaron cultivares de maíz procedentes del sistema informal de producción artesanal de semillas: Maíz Cariaco Jusepín (2000), Maíz Cariaco San Antonio (2002), Maíz Cariaco Jusepín (2003), Maíz Merideño (2002) y Maíz

Merideño (2003) y los cultivares procedentes del sistema formal de producción de semilla certificada: Himeca 95 (2003), Sefloarca 91 (2003), Pioneer 3018 (2002) y Pioneer 3031 (2003). El número entre paréntesis indica el año de producción y adquisición de la semilla. Todos los cultivares tuvieron un porcentaje de germinación superior al 95 % en la fecha de adquisición. Las semillas permanecieron bajo refrigeración (4 ± 1 °C) después de ser adquiridas.

Se determinó el contenido de humedad con base en 25 semillas por cada repetición de cada tratamiento, a los cuales se les determinó su peso, posteriormente, estas semillas fueron colocadas en la estufa a 105 °C durante 24 horas. Después de retiradas de la estufa se determinó el peso de las mismas. El porcentaje de humedad se calculó en base a peso húmedo, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%H = \left(\frac{P_i - P_f}{P_i} \right) \times 100$$

Donde:

% H = Porcentaje de humedad

P_i = Peso inicial

P_f = Peso final

Ensayo de laboratorio:

Esta prueba es conocida como prueba de germinación estándar. Se colocaron 50 semillas por repetición en bandejas de aluminio perforadas, sobre capas dobles de papel absorbente humedecido y cubiertas igualmente con una capa doble del mismo papel, previamente humedecido.

En el laboratorio las bandejas se colocaron sobre mesas a $26 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$ y se evaluaron las siguientes variables: Porcentaje de germinación a los cuatro y ocho días después de colocadas las semillas en las bandejas, longitud del tallo (cm) de las plántulas y peso seco de las plántulas, tallos y radículas (g) a los ocho días. Para la determinación del peso seco de las plántulas, tallos y radículas, se tomaron 10 plántulas por repetición de cada uno de los tratamientos y se

colocaron, previa identificación, en la estufa a una temperatura 75 °C durante 72 horas y luego se tomó su peso. Relación del número de hojas/altura de plántulas a los ocho días y relación del peso seco del vástago/peso seco de la raíz a los ocho días.

Ensayo de invernadero

Las semillas se sembraron en cajas de aluminio con arena fina de río sin desinfectar. Se utilizó una distancia de 4 cm entre plantas y 4,5 cm entre hileras para una población de 50 plantas/caja, y una semilla por sitio de siembra a una profundidad de 3 cm.

Las variables evaluadas fueron las siguientes: porcentaje de germinación a los tres, cuatro, cinco, seis, siete, ocho, 12 y 16 días después de la siembra (dds), número medio de días para completar la germinación, altura de las plántulas (cm) a los ocho, 12 y 16 dds, número de hojas a los ocho, 12 y 16 dds, mientras que a cosecha (16 dds) se determinó el diámetro del tallo (cm), peso fresco y seco del vástago y de la radícula y volumen radicular. Esta última variable se determinó mediante el desplazamiento de agua al introducir la radícula en un recipiente aforado.

Para evaluar el número medio de días para completar la germinación, se contaron el número de semillas germinadas por día hasta un máximo de 12 días (Hartman y Kester 1975):

$$\text{NMD} = \left(\frac{N_1 \times T_1 + N_2 \times T_2 + \dots + N_n \times T_n}{n} \right)$$

Donde:

NMD = Número medio de días para que germine la semilla.

N = Número de semillas germinadas dentro de los intervalos de tiempo consecutivos.

T = Tiempo transcurrido entre el inicio de la prueba y el fin del intervalo

n = Número de semillas germinadas.

Ensayo de campo

El ensayo se realizó en el campo experimental de la Universidad de Oriente, *Campus*

Los Guaritos, Maturín, estado Monagas, ubicada geográficamente entre los 9°44' de latitud norte y los 63°12' de longitud oeste, con una altura de 63 msnm, una precipitación media anual de 1.333 mm y una temperatura media anual de 25,9 °C. Se evaluaron las variables descritas en el ensayo de invernadero.

Diseño estadístico

Se usó un diseño de bloques completos al azar con nueve tratamientos formados por los nueve lotes de semillas de maíz y cuatro repeticiones para un total de 36 unidades experimentales. Se realizó un análisis de correlación lineal de Pearson (r) entre pares de variables, con base en los nueve lotes de semillas de los diferentes cultivares de maíz promediados sobre las cuatro repeticiones (n = 9). Se realizó un análisis de regresión múltiple paso a paso. Esta técnica ayuda a incluir en la ecuación de regresión solamente aquellos términos que contribuyen significativamente a la variación en la variable dependiente. Esta estrategia se alcanza con esta técnica mediante la adición sistemática de términos, uno a la vez, a la ecuación de regresión, en lugar de remover términos individuales o conjuntamente de una ecuación inicialmente grande (Gómez y Gómez 1984). Se realizó la regresión paso a paso descrita por Gómez y Gómez (1984). El coeficiente de determinación (R²) mide la contribución de la función lineal de K variable independiente a la variación en Y. Es usualmente expresada en porcentaje, un R² = 0,82 indica que el 82 % de la variación total en la variable Y puede ser explicado por una ecuación lineal de las K variables envueltas en la ecuación. El análisis de correlación lineal simple y el de regresión paso a paso se realizaron mediante el programa computarizado SPSS Versión 14.0.

Las parcelas experimentales estaban formadas por nueve hileras de 1,25 m de longitud correspondiendo cada dos hileras a un tratamiento (lotes de semillas), separadas entre sí a 0,25 m, resultando un área de 2,8 m², por lo que el área efectiva de cada tratamiento fue de 0,313 m². El ensayo total estuvo conformado por cuatro

bloques de 2,25 m de largo y 1,25 m de ancho, separados entre sí a una distancia de 1 m, resultando un área total de 18 m² y un área efectiva de 11,25 m².

La preparación del terreno y el control de malezas se realizó de forma manual con azadón y rastrillo (previamente se había realizado un pase de rastra para eliminar los restos de cosecha anterior). La distancia de siembra utilizada fue 0,25 m entre hileras y 0,05 entre plantas, para un total de 50 plantas por tratamiento y una población total de 1.800 plantas. Las condiciones de suelo para la emergencia en el campo se consideraron favorables en relación a la temperatura y humedad del suelo.

RESULTADOS

Coefficiente de correlación del peso seco del vástago en campo a los 16 dds con el resto de las variables evaluadas en el laboratorio e invernadero

Se encontró una correlación significativa y positiva ($p \leq 0,10$) entre el peso seco del vástago en campo (rendimiento de biomasa) con la germinación obtenida en el laboratorio (Cuadro 1). Aunque esta correlación fue relativamente baja ($r = 0,306$), indica incrementos en la germinación en el laboratorio y están asociados con incrementos en la biomasa aérea en el campo.

Regresión paso a paso del peso seco del vástago en el campo a los 16 dds con el resto de las variables evaluadas en el laboratorio e invernadero

Los modelos para predecir el vigor de las plántulas caracterizado por el peso seco del vástago a los 16 dds, contemplaron un gran número de variables evaluadas en el invernadero y en el laboratorio. Se requirieron de 10 variables para obtener un coeficiente de determinación del 49

%. Se observó la deficiencia de este modelo tanto por el gran número de variables predictoras envueltas (diez) como su relativamente bajo poder explicativo ($R^2 = 49 \%$) (Cuadros 2 y 3). Por otra parte, los modelos fueron significativos ($p \leq 0,10$) cuando se consideraron entre una a doce variables (Cuadro 2) pero la eficiencia de los mismos fue de baja (9,4 %) para el modelo con una variable a intermedia (50,6 %) para aquel considerando doce variables) (Cuadro 3).

Coefficiente de correlación de Pearson (r) entre la germinación en campo a los 16 dds con el resto de las variables evaluadas a nivel de laboratorio e invernadero.

En el Cuadro 4 se observa que ninguna de las variables en el invernadero ni en el laboratorio tuvieron una relación significativa con la emergencia en el campo indicando que el uso de un solo carácter en este ambiente no es aconsejable utilizarlo como predictor de la emergencia en el campo. Por otra parte el análisis de regresión paso a paso estimó un modelo con un coeficiente de determinación superior al 53 % cuando se utilizaron 16 variables, ya sea en el laboratorio o invernadero, lo que indica que el uso de múltiples de éstas en la ecuación de predicción tampoco es aconsejable ya que se necesita un elevado número de ellas para la predicción de la emergencia en el campo. Adicionalmente el modelo significativo ($p \leq 0,10$) con el menor número de variables evaluadas en el laboratorio e invernadero fue aquel constituido por 19 variables, haciendo difícil y prolongado para usarlo como predictor de la emergencia en el campo (Cuadros 5 y 6). Por otra parte, los modelos fueron significativos ($p \leq 0,10$) cuando se consideraron entre 19 a 21 variables (Cuadro 5) pero la eficiencia de los mismos fue intermedia (67,4 % para el modelo considerando 19 variables y 70,5 % para aquel en que se consideraron 21 variables) (Cuadro 6).

Cuadro 1. Coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) del peso seco del vástago en campo a los 16 días después de la siembra (dds) con el resto de las variables de nueve lotes de semillas de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en el laboratorio e invernadero. Invernadero del Centro de Postgrado, Juanico, Maturín. Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, Venezuela. 2003

Peso seco del vástago en campo		Correlación de Pearson	Significación	n
Laboratorio	Germinación	0,306	0,069 *	36
	Altura plantas	0,122	0,479	36
	Número de hojas	0,142	0,410	36
	Diámetro del tallo	0,084	0,626	36
	Peso seco vástago	0,057	0,741	36
	Peso seco de raíz	-0,042	0,807	36
	Relación N° hojas/altura	-0,045	0,794	36
	Rel. peso vástago/peso raíz	0,082	0,635	36
Invernadero	Germinación a los 4 dds **	-0,062	0,718	36
	Germinación a los 8 dds	-0,106	0,540	36
	Germinación a los 12 dds	-0,116	0,500	36
	Germinación a los 16 dds	-0,150	0,381	36
	Número de día a germinación	0,072	0,678	36
	Índice de la velocidad de germinación	-0,133	0,438	36
	Altura plantas a los 8 dds	-0,077	0,655	36
	Altura plantas a los 12 dds	0,069	0,689	36
	Altura plantas a los 16 dds	0,070	0,687	36
	Núm de hojas a los 8 dds	0,114	0,507	36
	Núm de hojas a los 12 dds	0,144	0,402	36
	Núm de hojas a los 16 dds	0,151	0,380	36
	Diámetro del tallo	-0,110	0,525	36
	Peso seco vástago	-0,153	0,374	36
	Peso seco de raíz	0,203	0,234	36
	Volumen radicular	0,000	0,998	36
	Rel. N° hojas/altura	-0,027	0,878	36
	Rel. peso vástago/peso raíz	-0,222	0,193	36
% humedad de la semilla	0,256	0,132	36	

* Correlación significativa ($p \leq 0,10$). El resto de los coeficientes de correlación fueron no significativos ($p > 0,10$).

** dds= Días después de la siembra.

Cuadro 2. Regresión paso a paso del peso seco del vástago en el campo a los 16 días después de la siembra (dds) con el resto de las variables de nueve lotes de semillas de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en el laboratorio (Lab.) e invernadero (Inv.). Invernadero del Centro de Postgrado, Juanico, Maturín. Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, Venezuela. 2003.

Modelo	Fuente Variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
1	Regresión	20,628	1	20,628	3,520	0,069 *
	Residual	199,222	34	5,859		
	Total	219,850	35			
...
10	Regresión	107,692	10	10,769	2,400	0,037 **
	Residual	112,158	25	4,486		
	Total	219,850	35			
11	Regresión	110,246	11	10,022	2,195	0,052 *
	Residual	109,604	24	4,567		
	Total	219,850	35			
12	Regresión	111,282	12	9,273	1,965	0,079 *
	Residual	108,568	23	4,720		
	Total	219,850	35			
13	Regresión	112,915	13	8,686	1,787	0,111 ns
	Residual	106,935	22	4,861		
	Total	219,850	35			

* : Significativo ($p \leq 0,10$). ** : Significativo ($p \leq 0,05$). ns : No Significativo ($p > 0,10$).

Cuadro 3. Modelos para predecir el peso seco del vástago en el campo a los 16 días después de la siembra (dds) con el resto de las variables de nueve lotes de semillas de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en el laboratorio e invernadero. Invernadero del Centro de Postgrado, Juanico, Maturín. Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín. 2003.

Modelo	R	R ²	R ² ajustada	Error standard estimado	Estadísticos de cambio				
					Cambio R ²	Cambio F	GL ₁	GL ₂	Cambio Sig. F
1	0,306	0,094	0,067	2,4206	0,094	3,520	1	34	0,069
2	0,441	0,195	0,146	2,3163	0,101	4,131	1	33	0,050
...
10	0,700	0,490	0,286	2,1181	0,012	0,575	1	25	0,455
11	0,708	0,501	0,273	2,1370	0,012	0,559	1	24	0,462
12	0,711	0,506	0,249	2,1726	0,005	0,219	1	23	0,644
13	0,717	0,514	0,226	2,2047	0,007	0,336	1	22	0,568

Cuadro 4. Coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) del porcentaje de emergencia en campo a los 16 días después de la siembra (dds) con el resto de las variables de nueve lotes de semillas de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en el laboratorio e invernadero. Invernadero del Centro de Postgrado, Juanico, Maturín. Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, Venezuela. 2003.

	Porcentaje de emergencia en campo	Correlación de Pearson	Significación	n
Laboratorio	Germinación	0,154	0,369	36
	Altura plantas	-0,162	0,344	36
	Número de hojas	-0,210	0,219	36
	Diámetro del tallo	0,099	0,564	36
	Peso seco vástago	-0,180	0,294	36
	Peso seco de raíz	0,057	0,740	36
	Relación N° hojas/altura	0,011	0,951	36
	Rel. peso vástago/peso raíz	-0,189	0,269	36
Invernadero	Germinación a los 4 dds	0,005	0,975	36
	Germinación a los 8 dds	-0,038	0,827	36
	Germinación a los 12 dds	-0,048	0,781	36
	Germinación a los 16 dds	-0,049	0,778	36
	Número de día a germinación	0,004	0,982	36
	Índice de la velocidad de germinación	-0,028	0,870	36
	Altura plantas a los 8 dds	0,016	0,927	36
	Altura plantas a los 12 dds	0,034	0,845	36
	Altura plantas a los 16 dds	0,063	0,716	36
	Núm de hojas a los 8 dds	0,128	0,456	36
	Núm de hojas a los 12 dds	0,068	0,694	36
	Núm de hojas a los 16 dds	0,061	0,726	36
	Diámetro del tallo	-0,063	0,715	36
	Peso seco vástago	-0,012	0,942	36
	Peso seco de raíz	0,142	0,409	36
	Volumen radicular	0,111	0,519	36
	Rel. N° hojas/altura	-0,085	0,623	36
	Rel. peso vástago/peso raíz	-0,094	0,584	36
% humedad de la semilla	0,082	0,633	36	

Todos los coeficientes de correlación fueron no significativos ($p > 0,10$).

Cuadro 5. Regresión paso a paso del porcentaje de emergencia en el campo a los 16 días después de la siembra (dds) con el resto de las variables de nueve lotes de semillas de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en el laboratorio e invernadero. Invernadero del Centro de Postgrado, Juanico, Maturín. Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, Venezuela. 2003.

Modelo	Fuente Variación	Suma de Cuadrados	GL	Cuadrados Medios	F	Sig.
1	Regresión	44,377	1	44,377	1,566	0,219 ns
	Residual	963,179	34	28,329		
	Total	1007,556	35			
...
10	Regresión	301,460	10	30,146	1,067	0,421 ns
	Residual	706,096	25	28,244		
	Total	1007,556	35			
...
16	Regresión	534,064	14	38,147	1,692	0,134
	Residual	473,491	21	22,547		
	Total	1007,556	35			
...
19	Regresión	678,766	17	39,927	2,186	0,055 *
	Residual	328,790	18	18,266		
	Total	1007,556	35			

* : Significativo ($p \leq 0,10$). ns : No Significativo ($p > 0,10$).

Cuadro 6. Modelos para predecir la emergencia en campo a los 16 días después de la siembra (dds) con el resto de las variables de nueve lotes de semillas de diferentes cultivares de maíz (*Zea mays* L.) evaluados en el laboratorio e invernadero. Invernadero del Centro de Postgrado, Juanico, Maturín. Escuela de Ingeniería Agronómica de la Universidad de Oriente, Núcleo de Monagas, Maturín, Venezuela. 2003.

Modelo	R	R ²	R ² ajustada	Error standard estimado	Estadísticos de cambio				
					Cambio R ²	Cambio F	GL ₁	GL ₂	Cambio Sig. F
1	0,210	0,044	0,016	5,322	0,044	1,566	1	34	0,219
...
10	0,547	0,299	0,019	5,314	0,025	0,899	1	25	0,352
...
16	0,728	0,530	0,217	4,748	0,037	1,645	1	21	0,214
...
19	0,821	0,674	0,365	4,274	0,081	4,451	1	18	0,049

DISCUSIÓN

En este ensayo solo se encontró una relación significativa entre el peso seco del vástago con la germinación obtenida en el laboratorio, mientras que la germinación en el campo no se asoció con ningún carácter evaluado ni en el laboratorio ni en el invernadero, lo que indica que un solo carácter en estos dos ambientes no es suficiente para predecir la emergencia y el vigor en el campo de los lotes de semillas de los diferentes cultivares de maíz. Por otra parte, cuando se utilizó más de un carácter en el invernadero y el laboratorio, tampoco se estimó un modelo de regresión satisfactorio, ésto puede deberse al hecho de que no se encontraron diferencias significativas para la emergencia y peso seco en campo (datos no mostrados). Resultados similares fueron reportados por Viloría (2005) en un ensayo realizado en la Estación Experimental de Jusepín, en Venezuela donde se encontró una sola correlación significativa para la germinación en campo y tres para el peso seco del vástago con el resto de los caracteres, pero si se encontraron modelos de regresión para predecir estos caracteres. Estas discrepancias entre los dos ensayos pueden deberse a que en el caso de la germinación tres de los cinco caracteres del modelo de regresión de Viloría fueron determinados en cámara de envejecimiento acelerado (semillas de maíz a condiciones adversas de temperatura a 45 °C y humedad relativa (100 %), la cual no se realizó en este ensayo.

No se encontró ninguna ecuación de regresión entre los caracteres de laboratorio e invernadero que ajustara para predecir tanto germinación como peso seco de plántulas, tampoco se encontraron asociaciones significativas entre estos dos caracteres de laboratorio e invernadero de manera individual. Resultados similares fueron reportados por Molina-Moreno *et al.* (1992) quienes encontraron que el primer conteo (tres días) y la longitud de la plántula no pudieron predecir la emergencia en el campo; las pruebas de frío y envejecimiento acelerado fueron adecuadas para detectar diferencias entre los lotes, pero su asociación con la emergencia en campo fue baja. Además Wilson *et al.* (1992) con 49 lotes

comerciales de semillas de maíz dulce y 48 lotes para un segundo año de sembrados en el campo, encontraron que la prueba de germinación standard en papel enrollado con evaluaciones a los cuatro y siete días no estuvo altamente correlacionada con la emergencia en campo. Van-Waas (1995) trabajó durante cuatro años con 428 lotes de semillas de maíz para comparar tres métodos de germinación y encontró que las correlaciones entre la prueba de germinación standard del ISTA o la prueba en frío con emergencia en campo, tuvieron en general una correlación baja. Lavato y Balboni (1997) evaluaron lotes de semillas de maíz de diferentes calidades (31 el primer año y 26 el segundo año) y hallaron que la prueba de germinación standard no estuvo generalmente bien correlacionada con la obtenida en el campo, mientras las otras pruebas, particularmente en frío en arena y la prueba de vigor con estrés, mostraron una mayor correlación.

García y Lasa (1989) que trabajaron con semillas de dos cultivares comerciales y seis líneas endocriadas de maíz, encontraron que la germinación en solución salina a potenciales osmóticos de -2 a -6 bares a 10 °C fue la que mejor predijo la emergencia en campo. La capacidad de germinación en híbridos de maíz predijo su germinación en campo, así como lo logró la prueba en frío (Gaspar y Ertsey 1984). Martin *et al.* (1988) estudiaron la emergencia en campo de 48 líneas de maíz en ocho localidades en dos años y encontraron que en ambos años las pruebas de frío y remojo estuvieron correlacionadas con la emergencia en campo. Venter y Lock (1991) obtuvieron poca correlación entre las pruebas de semillas y emergencia en campo, en condiciones muy secas y calientes. La prueba de germinación a baja temperatura tuvo el mayor valor predictivo para la emergencia en campo.

Al comparar los resultados de este ensayo con los de la literatura se observaron semejanzas y discrepancias de los mismos; estas diferencias se deben probablemente a la evaluación de diferentes lotes de semillas con varios cultivares y/o diferentes formas de evaluación de los caracteres, lo cual implica la evaluación constante de los lotes de semillas para cada sitio en particular

para tratar de predecir la emergencia y vigor de las plántulas de maíz en campo.

CONCLUSIONES

Los modelos para predecir el vigor de las plántulas caracterizado por el peso seco del vástago a los 16 dds, contemplaron un gran número de variables involucradas en el invernadero y en el laboratorio. Se requirieron 10 variables para obtener un coeficiente de determinación del 49 %. Aunque este modelo es significativo, se observó la deficiencia del mismo tanto por el gran número de variables predictoras envueltas (10) y su relativo bajo poder explicativo ($R^2 = 49\%$).

Para la emergencia en campo, el análisis de regresión paso a paso estimó un modelo con un coeficiente de determinación superior al 53 %, cuando se utilizaron 16 variables evaluadas, ya sea en el laboratorio o invernadero, lo que indica que el uso de múltiples variables en la ecuación de predicción tampoco es aconsejable ya que se necesita un elevado número de variables.

LITERATURA CITADA

- Cordero, J; Oliveros, M. 1983. Efecto de varias condiciones de almacenamiento sobre la germinación de semillas de *Andropogon gayanus*. *Agronomía Tropical (Venezuela)* 33(1-6):177-189.
- Cubero, JI; Moreno MT. 1983. Leguminosas de grano. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 341 p.
- García, A; Lasa, JM. 1989. Seed vigour tests for predicting field emergence of maize under severe conditions. *Anales de la Estación Experimental de Aula Dei* 19(3-4):279-291.
- Gaspar, S; Ertsey, K. 1984. Some observations on cold test of maize seeds in Hungary. *Wissenschaftliche Beitrage, Martin Luther Universitat Halle Wittenberg* 53 (S42):190-197.
- Gomez, K A; Gomez, AA. 1984. *Statistical procedures, for agricultural research*. 2 ed. Wiley & Sons. New York. USA. 680 p.
- Hartman, H; Kester, D. 1975. *Propagación de plantas*, Compañía Editorial Continental, México. 639 p.
- Hegarty, TW. 1971. A relation between field emergence and laboratory germination in carrots. *Journal Horticultura Science* 5(46):299-305.
- International Seed Testing Association (ISTA). 1987. *Handbook of vigour test methods*. Edit. F. Fiala. 2 ed. Zurich, Switzerland. 72 p.
- Kittock, D; Law, A. 1968. Relationship of seedling vigour to respiration and tetrazolium chloride reduction by germinating wheat seed. *Agronomy Journal* 60 (3):286-291.
- Lovato, A; Balboni, N. 1997. Seed vigour in maize (*Zea mays* L.): two year laboratory and field test compared. *Italian Journal of Agronomy* 1 (1):1- 6.
- Martin, BA; Smith, OS; O'Neil, M. 1988. Relationships between laboratory germination test and field emergence of maize inbreds. *Crop Science* 5:801-805.
- Martínez, L. 1999. Efecto de la temperatura y el contenido de agua del suelo en la germinación y crecimiento inicial de dos cultivares de maíz (*Zea mays* L). con diferentes contenidos de humedad inicial en las semillas. Tesis de Grado Magíster Scientiarum en Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Venezuela. 86 p.
- Molina Moreno, J; Lisakowski Irigon, D; Zonta E, P. 1992. Pruebas de vigor para semillas de maíz y su relación con la emergencia en campo. *Revista Fitotecnia Mexicana* 15(1):10-21.
- Perry, DA. 1972. Interacting of seeds and environment of seedling establishment. *In: W. Heydecker*. ed. *Seed ecology*. p. 311-312.
- Ram, C; Chhabra, BS; Mor, BR; Tomer, RP. 1989. Correlation among laboratory tests and field emergence in cotton. *Seed Research* 16(1):47-50.
- Rios, W. 1996. Relación entre pruebas de germinación y vigor en laboratorio con la emergencia de plántulas en el campo de 16 líneas de frijol (*Vigna unguiculata* (L) Walp) y una de frijol chino (*Vigna radiata* L). trabajo de Grado para Ingeniero Agrónomo. Escuela de Ingeniería Agronómica, Universidad de Oriente, Maturín, Venezuela. 170 p.
- Venter, HA; Lock, HW. 1991. A comparison of seed vigour test for maize (*Zea mays* L.). *South African Journal of Plant and Soil* 8(1):1-5.

- Viloria, H. 2005. Relación entre pruebas de calidad de semillas en el laboratorio e invernadero y la emergencia en el campo en maíz (*Zea mays* L). con especial referencia a las pruebas de conductividad eléctrica y pH. Tesis de Grado Magíster Scientiarum en Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, Núcleo Monagas, Venezuela. 255 p.
- Van Waes, J. 1995. The use of a cold test to predict field emergence of maize in oficial variety trials in Belgium. *Seed Science and Technology* 1:211-224.
- Wilson, DO Jr; Alleyne, JC; Shafii, B; Mohan, SK. 1992. Combining vigour test results for prediction of final stand of shrunken 2 sweet corn seed. *Crop Science* 32(6):1496-1502.