

EFECTO DE LA INMERSIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN AGUA A 100 °C SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO DE PLÁNTULAS BAJO CONDICIONES DE LABORATORIO

Jesús Rafael Méndez-Natera, Lesaida Ysavit-Marcano
y José Fernando Merazo-Pinto

Depto. de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo Monagas,
Universidad de Oriente. Avenida Universidad, *Campus* Los Guaritos,
Maturín, 6201, Monagas, Venezuela. E-mail: jmemendezn@cantv.net.

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar el efecto de la inmersión en agua (100 °C) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de tres cultivares de maíz bajo condiciones de laboratorio. El experimento se realizó en el Laboratorio de Semillas del Postgrado de Agricultura Tropical en Juanico, Maturín, Venezuela. El diseño estadístico utilizado fue el de bloques al azar con arreglo factorial (distribuido en cuatro bloques), un factor estuvo constituido por cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C (0, 2, 4, 6 y 8 segundos) y el otro por tres cultivares de maíz (Cargill 633, Himeca 2003 y Criollo). El tiempo de inmersión en agua que causó mayor deterioro y reducción de la germinación en las semillas de maíz fue el de 8 segundos. En general, las variables evaluadas presentaron una disminución a medida que aumentaban los tiempos de inmersión en agua a 100 °C, aunque el efecto causado sobre las variables: altura de plántulas, número de hojas por plántulas y peso seco de la radícula de los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003 fue leve. La inmersión de las semillas en agua caliente durante breves periodos de tiempo fue para determinar su calidad.

Palabras Clave: *Inmersión en agua caliente, deterioro de semilla, maíz.*

ABSTRACT

In order to determine the quality of the seeds involved, this research was aimed at assessing the effect of hot water immersion on seed germination and seedling growth of three corn (*Zea mays* L.) cultivars under laboratory conditions. The experiment was carried out in the "Laboratorio de Semillas del Posgrado en Agricultura Tropical" in Juanico, Maturín, Venezuela. A 3 x 5 factorial experiment in a randomized complete block design with four replications was used. One factor consisted of five periods of hot water immersion at a temperature of 100 °C during 0, 2, 4, 6, and 8 seconds, respectively. The other factor was constituted by the three corn cultivars (Cargill 633, Himeca 2003 and Criollo). The hot water immersion period which caused the most deteriorating conditions on seed germination was the one which lasted 8 seconds. In general, the characteristics under study showed more deterioration as the immersion periods lasted more. However, mild effects were observed on seedling height, number of seedling leaves and dry radicle weight of the cultivars Cargill 633 and Himeca 2003.

Key Words: *Hot water immersion, seed deterioration, corn.*

www.medigraphic.com

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal más importante en Venezuela, seguido de los cultivos de arroz y sorgo. En el año 2004 se produjo lo siguiente: 2,068,465 toneladas de maíz sembrado en una superficie de 601,498 ha, con un rendimiento de 3,439 kg/ha y una ganancia de 277,278 millones de bolívares. Para el 2005, el mismo cultivo fue de 2,115,693 t con una superficie sembrada de 640,066 ha, un rendimiento de 3,305 kg/ha y una ganancia de 283,609 millones de bolívares¹.

El cultivo de arroz en 2004 dio 989,478 t en una superficie sembrada de 198,834 ha con un rendimiento de 4,976 kg/ha y 133,940 millones de bolívares. En el 2005, del mismo cultivo se obtuvieron 962,785 t con una superficie sembrada de 210,726 ha y un rendimiento de 4,569 kg/ha, la ganancia fue de 130,326 millones de bolívares¹.

El cultivo de sorgo en 2004 fue una cosecha de 612,450 t, en una superficie sembrada de 297,576 ha y un rendimiento de 2,058 kg/ha, de lo que se obtuvo 63,395 millones de bolívares. En el 2005, este cultivo dio 395,364 t y la superficie sembrada fue de 179,720 ha, con un rendimiento de 2,200 kg/ha y una ganancia de 40,925 millones de bolívares¹.

El método de envejecimiento acelerado fue ideado para medir la capacidad de germinación y vigor de un lote de semillas para ser almacenado. También es aplicado para producir el deterioro de la semilla similar a aquel que ocurre en forma natural y para distinguir la calidad de semillas entre diferentes lotes. La técnica consiste en la colocación dentro de la cámara de envejecimiento acelerado de pequeñas muestras de semillas de los lotes que se quieren evaluar sometiéndolas a altas temperaturas 40 - 45 °C y 100% de humedad relativa durante 2 - 8 días o a 30 °C y 75% de humedad relativa durante 2 a 18 semanas².

Otra técnica que podría facilitar la diferenciación de lotes de semillas de buena calidad de aquellos lotes de mala calidad sería la inmersión en agua caliente a altas temperaturas (mayor a 100 °C), esta técnica podría sustituir al método de cámara de envejecimiento acelerado debido a que es un método más económico, de fácil manejo y no requiere de equipos especiales.

La metodología de sumergir semillas en agua caliente para evaluar la calidad de las semillas en el cultivo de maíz no es una práctica común y la bibliografía es escasa. Esta técnica sí se ha experimentado en otros cultivos. Por ejemplo, la evaluación del vigor de la semilla de arroz y el deterioro de la misma se realizó usando una técnica de baño con agua caliente; para esto se utilizaron dos variedades de arroz, que fueron sumergidas en agua caliente a tiempos y temperaturas específicas, 25 semillas de cada variedad por tres repeticiones junto a un control se sembraron en bandejas y se colocaron en el invernadero, el agua se aplicó al suelo cuando fue necesario y las semillas, en las bandejas se observaron

para el conteo de emergencia de plántulas, así como el daño progresivo con incrementos en el tiempo; la comparación entre las dos variedades de arroz a varios tiempos y temperaturas mostró diferencias en la viabilidad y el vigor³.

También se ha utilizado en el cultivo de algodón, con mayor literatura al respecto. En un experimento se trataron semillas de algodón deslintadas con ácido y sumergidas en agua caliente de 50-90 °C durante un rango de tiempos diferente, luego se secaron durante 24 h y fueron evaluadas para germinación. El tiempo requerido para matar el 50% de las semillas calculado a partir de las ecuaciones de regresión se incrementó de 0.92 minutos a 90 °C a 283.4 minutos a 50 °C. Una evaluación adicional fue hecha con el tratamiento de agua caliente a 65 °C durante 0 a 60 minutos y se realizaron las pruebas de germinación estándar, con tetrazolio y frío de Texas, los resultados dieron la determinación del porcentaje de germinación después del tratamiento a 65 °C durante 30 a 40 minutos e indicaron el vigor de la semilla; la semilla germinada condicionada a 65 °C durante aproximadamente 10 minutos dio una medida precisa del total de semilla viable⁴. Por otra parte, se trataron semillas de algodón cosechadas en 1985 y 1986 con agua caliente durante 15, 30 ó 45 minutos y las compararon con semillas similares sujetas a envejecimiento acelerado durante 40, 80 ó 120 horas para observar la emergencia, densidad de las plantas resultante y enfermedad de las plántulas cuando fueron sembradas en abril y mayo de 1986 y 1987 en el estado de Mississippi, Estados Unidos y encontraron que la germinación, la emergencia y la densidad de plantas indicaron que las semillas se deterioraron progresivamente a medida que la duración del tratamiento con agua caliente se incrementó⁵.

La técnica de calor con la inmersión en agua caliente durante un tiempo relativamente corto podría utilizarse para predecir la viabilidad y el vigor de las semillas de maíz; debido a que la literatura es escasa en relación a este tema, el objetivo del trabajo fue determinar el efecto de la inmersión en agua (100 °C) sobre la germinación de semillas y crecimiento de plántulas de tres cultivares de maíz bajo condiciones de laboratorio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

El presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Semillas del Postgrado de Agricultura Tropical de la Universidad de Oriente, ubicado en la Urbanización Juanico, Maturín, Estado Monagas, Venezuela.

Cultivares empleados

Se utilizaron semillas certificadas de los híbridos de maíz: Cargill 633 e Himeca 2003 con una alta calidad (altos porcentajes de germinación y vigor), así como el de una población de polinización libre utilizadas por los agricultores de la zona de Jusepín, Estado Monagas, denominada Criollo, con una baja calidad de semillas (bajo porcentaje de germinación y vigor). Todas las semillas

tenían un contenido de humedad alrededor del 12%. Las semillas de los cultivares una vez adquiridas (tres meses antes del ensayo) se almacenaron en refrigeración ($5 \pm 1^\circ\text{C}$) en el Laboratorio de Semillas.

Diseño experimental

Se utilizó el diseño estadístico de bloques al azar con arreglo factorial (distribuido en cuatro bloques), un factor estuvo constituido por los tres cultivares de maíz mencionados anteriormente. El otro factor correspondió a cinco tiempos de inmersión de las semillas en agua caliente: 0, 2, 4, 6 y 8 segundos a una temperatura de $100 \pm 1^\circ\text{C}$. El tiempo 0 constituyó el tratamiento testigo.

Características del ensayo

Se utilizaron 750 semillas, 250 de cada cultivar. Las semillas se separaron en lotes de 25 semillas representando cada unidad experimental (repetición, cultivar y dosis). Se desinfectaron con una solución de cloro comercial al 10% v/v (5.25% de hipoclorito de sodio) por un período de tres minutos, posteriormente se lavaron las semillas con abundante agua para eliminar el exceso de cloro. Después se colocaron dentro de un recipiente de vidrio en baño María a $100 \pm 1^\circ\text{C}$ durante 8, 6, 4 y 2 segundos, la temperatura se monitoreó con un termómetro láser. Posteriormente se sembraron las semillas en el laboratorio.

Procedimiento en el laboratorio

En el laboratorio se colocaron 25 semillas en hileras por repetición de cada uno de los cultivares sobre dos hojas de papel absorbente y luego se cubrieron con una hoja de este mismo papel, colocadas en bandejas de aluminio previamente desinfectadas con cloro comercial, las semillas se humedecieron diariamente con agua. La cosecha se realizó a los 8 días después de la siembra.

Variables a evaluar

A los 8 días se evaluaron las siguientes variables biométricas:

1. Porcentaje de germinación (%)
2. Altura de las plántulas (cm). Para determinar esta variable se utilizó una regla graduada, midiendo desde el cuello de las plántulas hasta la punta superior extendida de la hoja.
3. Longitud de la radícula (cm). Se realizó con una regla graduada.
4. Número de hojas/plántula. Se contaron las hojas que estaban totalmente extendidas.
5. Peso seco del vástago. Esta variable se determinó después de sacar las plántulas de la estufa, las cuales estuvieron sometidas a 80°C durante 72 horas.
6. Peso seco de la radícula. Esta variable se determinó después de sacar las radículas de la estufa, las cuales estuvieron sometidas a 80°C durante 72 horas.
7. Relación altura de la plántula/longitud de radícula. Se dividió la altura de la plántula entre la longitud de la radícula.
8. Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula. Se dividió el peso seco del vástago entre el peso seco de la radícula.

Análisis estadístico

Se realizó el análisis de varianza de las variables evaluadas a los ocho días después de la siembra. El nivel de significación fue del 5%. La diferencia entre los promedios para el efecto principal de cultivares se detectó mediante la prueba de Rangos Múltiples de Duncan. En aquellas variables donde el tratamiento principal de colocación en la estufa o la interacción cultivar por colocación en la estufa fue significativo, se realizó el análisis de regresión correspondiente⁶.

Los datos de porcentaje de germinación se transformaron mediante la fórmula: $\arcseno \sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, mientras que para las demás variables los datos fueron transformados mediante la fórmula: $\sqrt{(x+0.5)^7}$.

RESULTADOS

Porcentaje de germinación

El análisis de varianza y de regresión para el porcentaje de germinación a los 8 días después de la siembra en la Tabla I, indicó que existieron diferencias significativas ($p=0.05$, 42 g.l.) para las repeticiones, cultivares, interacción cultivar, Cargill 633; regresión lineal para Cargill 633, Himeca 2003 y Criollo ($R^2=96.40\%$), regresión cuadrática para los cultivares Cargill 633 ($R^2=57.94\%$) e Himeca 2003 ($R^2=71.53\%$), efecto residual para los cultivares: Cargill 633 e Himeca 2003 y no se presentaron diferencias significativas ($p>0.05$, 42 g.l.) para la regresión cúbica en Cargill 633, Himeca 2003, Criollo, regresión cuadrática para el cultivar Criollo y efecto residual para cultivar Criollo.

En la Figura 1 se observa el análisis de regresión para el porcentaje de germinación de la semilla a los 8 días después de la siembra y a medida que se incrementan los tiempos de inmersión, el porcentaje de germinación se reduce. En los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003, los porcentajes de germinación se reducen hasta los 6 segundos y a partir de este valor comienza un incremento leve de este carácter, teniendo una respuesta cuadrática, mientras, que para el cultivar Criollo la respuesta fue lineal negativa.

Altura de las plántulas (cm)

El análisis de varianza y regresión para la altura de las plántulas a los 8 días después de la siembra indicó diferencias significativas ($p=0.05$, 42 g.l.) para los cultivares, inmersión en agua caliente, interacción cultivar por inmersión en agua caliente, cultivar Criollo en inmersión en agua caliente y sus respectivas regresiones lineales y cuadráticas ($R^2=99.77\%$); el resto de las fuentes de variación no mostraron diferencias significativas ($p>0.05$, 42 g.l.) (Tabla I).

En la Figura 1 se observa el análisis de regresión para la altura de plántula a los 8 días después de la siembra, la misma indicó que a medida que se incrementa el tiempo de inmersión en agua a 100°C , las plántulas de Criollo fueron más pequeñas. La altura

Fuente de variación	Cuadrados Medios								
	G.L.	PG	AP	LR	NHP	PSV	PSR	AP/LR	PSV/PSR
Repetición	3	4.2590 *	0.0373 ns	0.008 ns	0.0027 ns	0.0000171 ns	0.0000252 ns	0.005 ns	0.012 ns
Cultivar (C)	2	54.5140 *	8.3480 *	4.076 *	0.5080 *	0.0013309 *	0.0008655 *	0.235 *	0.095 ns
Tiempo de Inmersión (TI)	4	14.6798 *	1.7580 *	1.824 *	0.1070 *	0.0001629 *	0.0002173 *	0.034 ns	0.212 *
C * TI	8	2.6764 *	0.8575 *	0.486 ns	0.0691 *	0.0000565 *	0.0006348 ns	0.081 *	0.148 *
Cargill 633 en TI	4	8.9053 *	0.0333 ns	6.498 *	0.0024 ns	0.0000100 ns	0.0000008 *	0.009 ns	0.016 ns
Reg. Lineal	1	8.7910 *	0.0070 ns	0.740 ns	0.0054 ns	0.0000064 ns	0.0000432 ns	0.030 ns	0.000 ns
Reg. Cuadrática	1	11.8500 *	0.0076 ns	0.057 ns	0.0000 ns	0.0000286 ns	0.0001904 ns	0.001 ns	0.032 ns
Reg. Cúbica	1	0.8810 ns	0.1179 ns	0.000 ns	0.0031 ns	0.0000036 ns	0.0000871 ns	0.004 ns	0.000 ns
Efecto Residual	1	14.1000 *	0.0009 ns	0.291	0.0011 ns	0.0000014 ns	0.0000568	0.000 ns	0.031 ns
Himeca 2003 en TI	4	7.3268 *	0.2013 ns		0.0057 ns	0.0000388 ns		0.006 ns	0.020 ns
Reg. Lineal	1	13.9620 *	0.6131 ns		0.0170 ns	0.0001296 *		0.015 ns	0.002 ns
Reg. Cuadrática	1	7.0010 *	0.1712 ns		0.0053 ns	0.0000000 ns		0.001 ns	0.034 ns
Reg. Cúbica	1	1.6740 ns	0.0000 ns		0.0004 ns	0.0000144 ns		0.000 ns	0.000 ns
Efecto Residual	1	6.6701 *	0.0208 ns		0.0000 ns	0.0000112 ns		0.002 ns	0.043 ns
Criollo en TI	4	3.8005 *	3.2385 *		0.2370 *	0.0002180 *		0.182 *	0.473 *
Reg. Lineal	1	14.6550 *	10.5843 *		0.6938 *	0.0007744 *		0.456 *	1.128 *
Reg. Cuadrática	1	0.1890 ns	2.3403 *		0.2258 *	0.0000926 *		0.256 *	0.365 *
Reg. Cúbica	1	0.0260 ns	0.0285 ns		0.0252 ns	0.0000036 ns		0.015 ns	0.175 ns
Efecto Residual	1	0.3319 ns	0.0007 ns		0.0038 ns	0.0000014 ns		0.002 ns	0.222 *
Error Experimental	42	0.4862	0.3533		0.0280	0.0000191		0.031	0.046
Total	83								
C. V. (%)		6.81	16.39	17.47	11.01	0.60	1.04	13.18	16.15

G.L. Grados de Libertad. * Significativo ($p < 0.05$)
C.V. Coeficiente de Variación ns No Significativo ($p > 0.05$)
El análisis de regresión para LR y PSR corresponde a todos los cultivares debido a que la interacción C * TI fue no significativa.

Tabla 1. Análisis de varianza y análisis de regresión para el porcentaje de germinación (PG), altura de la plántula (cm) (AP), longitud de la radícula (cm) (LR), número de hojas/plántula (NHP), peso seco del vástago (g) (PSV), peso seco de la radícula (g) (PSR), relación AP/LR (AP/LR) y relación PSV/PSR a los 8 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C. Porcentaje de germinación transformado mediante $\sqrt{(x+3/8)/(n+3/4)}$, al igual que las demás variables transformados mediante $\sqrt{(x+0.5)}$.

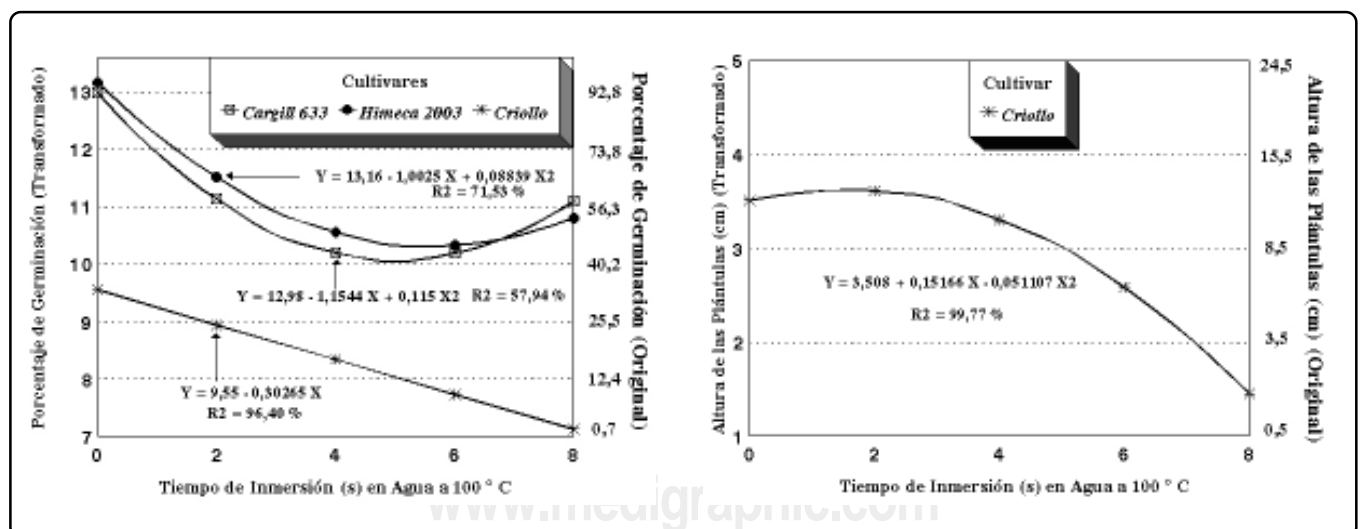


Figura 1. Análisis de regresión para el porcentaje de germinación de las semilla y la altura de la plántula a los 8 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C. Datos promediados sobre cuatro repeticiones.

de las plántulas de Cargill 633 e Himeca 2003 no fue afectada por los tiempos de inmersión en agua caliente.

Longitud de la radícula (cm)

El análisis de varianza y regresión para la longitud de la radícula a los 8 días después de la siembra indicó que existieron diferencias significativas ($p < 0.05$, 42 g.l.) para los cultivares, inmersión en agua y la regresión lineal para inmersión en agua ($R^2 = 89.07\%$); no se encontraron diferencias significativas en las demás fuentes de variación ($p > 0.05$, 42 g.l.) (Tabla I).

La Tabla II presenta la prueba de promedios de Duncan para la longitud de la radícula de las plántulas de tres cultivares de maíz. Los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003 presentaron radículas más largas que el cultivar Criollo. En la figura 2 se observa que a medida que se incrementan los tiempos de inmersión en agua a 100°C , las radículas son menos largas, con una respuesta lineal.

Número de hojas/plántula

El análisis de varianza y regresión para el número de hojas/plántula a los 8 días después de la siembra en la Tabla I indicó diferencias significativas ($p < 0.05$, 42 g.l.) para los cultivares, la interacción cultivar, cultivar Criollo, regresión lineal y regresión cuadrática del cultivar Criollo ($R^2 = 96.94\%$); pero en las demás fuentes de variación no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$, 42 g.l.).

En la figura 2 se observa el análisis de regresión para el número de hojas por plántula, al incrementar los diferentes tiempos de inmersión en agua caliente para el cultivar Criollo hubo una disminución de esta variable con respecto al control, excepto a los 2 segundos. El número de hojas/plántula de los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003 no se vio afectado por la inmersión de

las semillas en agua caliente.

Peso seco del vástago

El análisis de varianza y regresión para el peso seco del vástago a los 8 días después de la siembra indicó diferencias significativas ($p < 0.05$, 42 g.l.) para los cultivares, la interacción cultivar, regresión lineal para Himeca 2003 ($R^2 = 83.51\%$); regresión lineal y cuadrática para el cultivar Criollo ($R^2 = 99.42\%$); el resto de las fuentes de variación no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$, 42 g.l.) (Tabla I).

En la Figura 3 se observa el análisis de regresión para el peso seco del vástago en la cual se muestra que a medida que se incrementan los tiempos de inmersión en agua a 100°C , las vástagos son más livianos, teniendo una respuesta lineal para el cultivar Himeca 2003, mientras que para Criollo, fue cuadrática; por otra parte, el peso seco del vástago del cultivar Cargill 633 no fue afectado por los diferentes tiempos de inmersión en agua a 100°C .

Peso seco de la radícula

El análisis de varianza y regresión para el peso seco de la radícula a los 8 días después de la siembra indicó diferencias significativas ($p = 0.05$, 42 g.l.) para los cultivares y la regresión lineal ($R^2 = 73.03\%$); el resto de las fuentes de variación no resultaron significativas ($p > 0.05$, 42 g.l.) (Tabla I).

La Tabla II muestra la prueba de promedios para el peso seco de la radícula de tres cultivares de maíz: Cargill 633 e Himeca 2003 presentan pesos similares entre sí pero superiores al del cultivar Criollo. En la Figura 3 se observa el análisis de regresión para el peso seco de la radícula, el cual disminuye al incrementarse los tiempos de inmersión en agua a 100°C , con una respuesta lineal negativa.

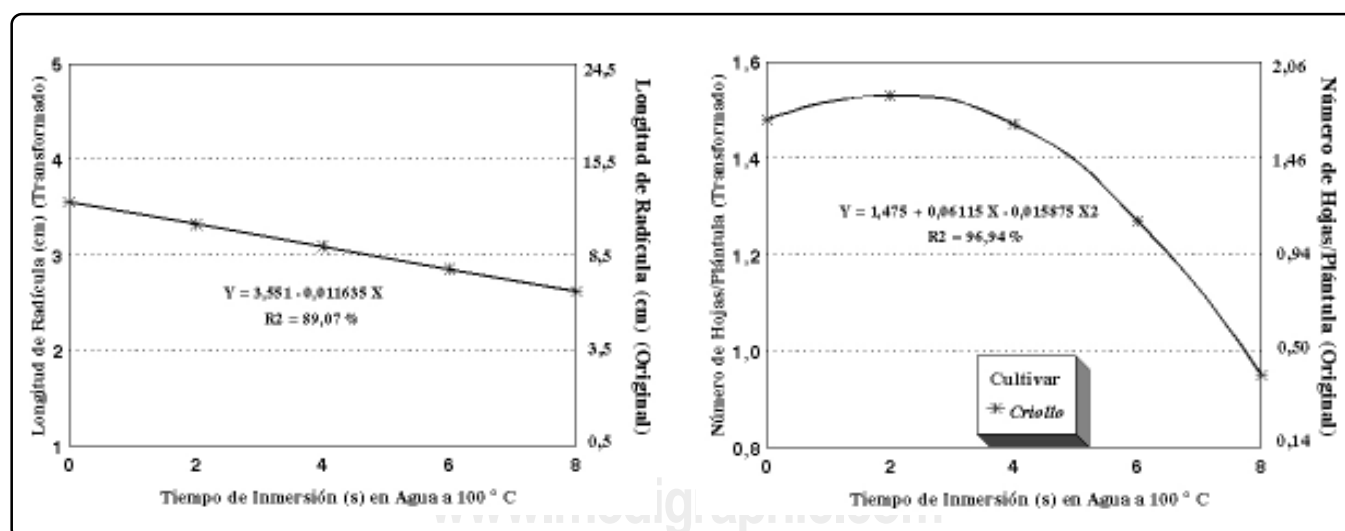


Figura 2. Análisis de regresión para la longitud de la radícula (cm) y el número de hojas/plántula a los 8 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo cinco tiempos de inmersión en agua a 100°C . Datos promediados sobre cuatro repeticiones y tres cultivares para la longitud de la radícula y sobre cuatro repeticiones para el número de hojas/plántula.

Cultivares de maíz	Longitud de la radícula (cm)		Peso seco de la radícula (g)	
Cargill 633	10.68	A	0.033	A
Himeca 2003	10.72	A	0.029	A
Criollo	6.07	B	0.014	B

† Prueba de Rangos Múltiples de Duncan ($p = 0.05$). Promedios dentro de las columnas (variables) seguidos por letras diferentes son significativamente diferentes. Promedios provenientes de cuatro repeticiones y cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C.

Tabla II. Promedios para la longitud de la radícula y el peso seco de la radícula (g) a los ocho días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.). Datos promediados sobre cuatro repeticiones y cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C.

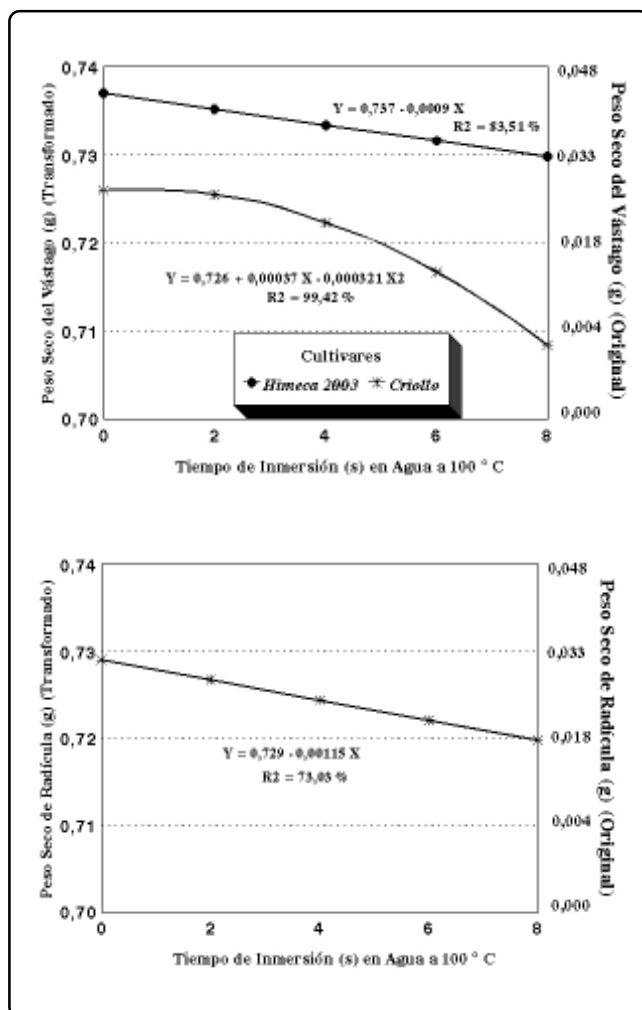


Figura 3. Análisis de regresión para el peso seco del vástago (g) y el peso seco de la radícula (g) a los 8 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C. Datos promediados sobre cuatro repeticiones para el peso del vástago y sobre cuatro repeticiones y tres cultivares para el peso seco de la radícula.

Relación altura de las plántulas/longitud de la radícula

El análisis de varianza y regresión en la Tabla I indicó diferencias significativas ($p < 0.05$, 42 g.l.) para los cultivares y para la interacción cultivar, cultivar Criollo y la regresión lineal y cuadrática de Criollo ($R^2=97.66\%$); las demás fuentes de variación no mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$, 42 g.l.).

En la figura 4 se observa el análisis de regresión para la relación altura de plántula/ longitud de la radícula. Incrementos del tiempo de inmersión en agua a 100 °C disminuyeron la relación altura de plántula/longitud de radícula del cultivar Criollo. Observándose una respuesta cuadrática con la mayor relación a los 2 segundos. Esta relación no fue afectada por los tiempos de inmersión en agua caliente para los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003.

Relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula

El análisis de varianza y regresión para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula indicó diferencias significativas ($p = 0.05$, 42 g.l.), así como para la interacción cultivar, cultivar Criollo y sus respectivas regresiones lineal y cuadrática ($R^2=78.97\%$). No se encontraron diferencias significativas para el resto de las fuentes de variación ($p > 0.05$, 42 g.l.) (Tabla I).

En la Figura 4 se observa que a medida que aumentan los tiempos de inmersión en agua caliente, la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula disminuye. Observándose una respuesta cuadrática con la mayor relación a los 2 segundos. Esta relación no fue afectada por los tiempos de inmersión en agua caliente para los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003.

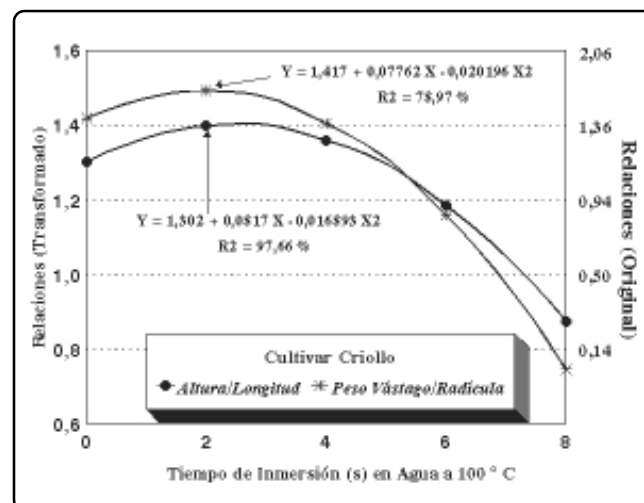


Figura 4. Análisis de regresión para la relación altura de plántula/longitud de la radícula y para la relación peso seco del vástago/peso seco de la radícula a los 8 días después de la siembra de tres cultivares de maíz (*Zea mays* L.) bajo cinco tiempos de inmersión en agua a 100 °C. Datos promediados sobre cuatro repeticiones.

DISCUSIÓN

Se observó una disminución en el porcentaje de germinación y en las variables de las plántulas evaluadas. El efecto negativo de la inmersión en agua caliente sobre la germinación y vigor de las semillas de maíz ha sido reportado, en un experimento se trataron semillas de maíz y trigo con altas temperaturas y se encontró que en las de maíz tratadas a 60 °C durante 45 horas, la germinación se redujo de 72 a 15% y el vigor de semilla de 96 - 98 a 89%, mientras en semillas de maíz tratadas a 65 °C durante 17 horas, la germinación se redujo de 86 a 0% y el vigor de la semilla también, de 98 a 1%⁸.

En este estudio se pudo observar que las semillas del cultivar Criollo fueron aparentemente menos vigorosas que la de los dos híbridos comerciales, al producir radículas más cortas y menos pesadas que la de los dos híbridos. Esto pudo deberse a que la semilla utilizada del Cultivar Criollo proviene del sistema artesanal de semillas, mientras que la semilla de los híbridos comerciales pertenecen al sistema formal de producción de semillas certificadas. Lo que sí está claro, es que la inmersión en agua a 100 °C durante cortos periodos de tiempo permitió discriminar al menos entre semilla certificada y semilla del sistema artesanal, debido a que la altura de la plántula y el número de hojas/plántula sólo fueron afectados por los tiempos de inmersión en agua caliente para el cultivar Criollo, mientras que el peso seco del vástago fue afectado por el agua caliente en los cultivares Himeca 2003 y Criollo, siendo mayor la disminución en Criollo. La germinación se redujo a 2% en Criollo a 8 segundos en comparación con los dos híbridos (43.15 y 45.25% para Cargill 633 e Himeca 2003, respectivamente a 6 segundos). Resultados similares se reportaron en un experimento donde se evaluó el uso de agua caliente en sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), colocándose las semillas en bolsas de tela y sumergiéndolas en agua a 65, 70 y 80 °C durante 2 a 30 minutos y de 90 a 100 °C durante 5 a 45 segundos. Se encontró que tratamientos de temperaturas por debajo de los 100 °C no mostraron diferencias entre lotes vigorosos y no vigorosos, pero usando un tratamiento de agua caliente de 20 segundos a 100 °C, se observó una diferenciación distintiva de las semillas entre lotes vigorosos y no vigorosos⁹.

Se observó que la inmersión en agua a 100 °C podría ser utilizada como una técnica para deteriorar las semillas de maíz y discriminar entre lotes vigorosos y no vigorosos. Se ha propuesto el uso del tratamiento de agua caliente como un medio para deteriorar rápidamente las semillas de algodón, más allá de 50 °C y más uniforme que por la técnica de envejecimiento acelerado, además de ser un medio efectivo y confiable para determinar la viabilidad y el vigor de la semilla de algodón¹⁰.

Se han reportado experimentos donde el tratamiento con agua caliente puede predecir la emergencia en campo. En un estudio se sometieron dos lotes de semillas cada uno de dos cultivares de soja a la evaluación del vigor usando germinación estándar,

emergencia en campo, ladrillo-grava, papel absorbente, envejecimiento acelerado y agua caliente; de éstas, las pruebas de envejecimiento acelerado, tratamiento con agua caliente y papel absorbente dieron valores muy cercanos a la emergencia en campo¹¹.

El uso de agua a 100 °C podría utilizarse en maíz para diferenciar lotes de semillas en cuanto a su calidad, esta técnica podría extrapolarse a otras semillas de cereales y otros cultivos previa experimentación, aunque su uso estaría restringido a especies que no posean latencia, la cual podría ser superada con el tratamiento de agua caliente. Por ejemplo, se sometieron, previo a la siembra, semillas de *Rauvolfia serpentina* Benth. a nueve tratamientos y se encontró que el tratamiento con agua (80 °C durante 5 minutos) produjo el número más alto de plántulas normales (26.66), porcentaje de germinación (53.33%) e índice de vigor de las semillas (428.77), así como las plántulas más altas (8.04 cm)¹². Por otra parte, se sometieron semillas de *Andrographis paniculata* Nees. a diferentes tratamientos: inmersión en thiourea, KCl, KNO₃, KH₂PO₄, ácido indolacético y ácido giberélico, durante tres horas, inmersión en ácido sulfúrico comercial durante tres minutos, inmersión en agua caliente (50 °C) durante cinco minutos, inmersión en agua durante 12 horas, lixiviados durante 12 horas, escarificación con arena durante cinco minutos y un control, se encontró que el tratamiento con agua caliente registró la germinación más alta (84%) comparado con solamente 62% en el control, la mayor longitud del vástago (4.13 cm), el más alto contenido de materia seca (18.7 mg/10 plántulas) e índice de vigor (540) y no se produjeron plantas anormales^{13,14}.

Las reducciones en el porcentaje de germinación para los tiempos de inmersión en agua a 100 °C de 2, 4, 6 y 8 segundos fueron 36.72, 53.16, 53.31 y 37.21% (Cargill 633); 32.27, 48.89, 52.85 y 44.92% (Himeca 2003) y 25.85, 50.07, 72.63 y 93.54% (Criollo), respectivamente, es decir, las semillas de Criollo fueron más susceptibles al tratamiento calórico en los tiempos más prolongados (6 y 8 segundos), siendo las disminuciones muy similares entre los tres cultivares a 4 segundos, mientras que Criollo tuvo la menor reducción a 2 segundos, estos resultados confirman que las semillas del cultivar Criollo fueron de menor calidad que las de Cargill 633 e Himeca 2003. Esta aseveración se basa en que ninguno de los tres cultivares ha sido mejorado desde el punto de vista genético para la tolerancia de sus semillas a altas temperaturas. La menor disminución del porcentaje de germinación en Criollo a los 2 segundos puede deberse a que este cultivar presentó el menor porcentaje de germinación en el control (33.38%), mientras que Cargill 633 e Himeca 2003 tuvieron porcentajes de 92.41 y 85.97%, respectivamente en el control, ofreciendo una mayor probabilidad de obtener mayores reducciones con los periodos de inmersión en agua caliente. Por otra parte, con respecto a la mayor disminución en el porcentaje de germinación de las semillas de Criollo con respecto a los dos otros cultivares de maíz a 6 y 8 segundos, se ha indicado que la

inmersión de semillas de *Acacia melanoxylon* en agua hirviendo (100 °C) durante tres minutos es usualmente efectiva pero puede ser muy detrimental si el lote de semillas es de pobre calidad, es decir, más bajo que la viabilidad promedio¹⁵.

El efecto directo del agua caliente sobre la semilla es la muerte del embrión. Por ejemplo, las semillas de *Ceanothus sanguineus* pueden ser escarificadas mediante agua caliente a temperaturas de 80 a 90 °C, las semillas son añadidas al agua hirviendo durante sólo 5 a 19 segundos e inmediatamente transferidas a una tina de agua fría para evitar la muerte del embrión¹⁶. Al estudiar el efecto de pre-tratamientos sobre la germinación de semillas de *Alstonia scholaris*, se encontró que entre los tratamientos húmedos, la inmersión continua en agua a 50 °C durante 30 minutos tuvo un mejor efecto sobre la germinación y vigor que la inmersión en agua caliente a 80 °C, esta temperatura mató las semillas completamente¹⁷. La ebullición usualmente promueve la germinación hasta un punto crítico más allá del cual hay una disminución en el porcentaje de germinación final, la inmersión en agua dentro del rango de 60 - 90 °C es a menudo tan efectiva como la inmersión a 100 °C, pero hay menos probabilidad de daño a las temperaturas más bajas¹⁸.

La selección del tratamiento de inmersión en agua hirviendo (100 °C) para evaluar la calidad de semillas de maíz es apropiada debido a que temperaturas menores, deben ser monitoreadas con termómetros y mientras más alta la temperatura mayor es el daño que causa en un menor tiempo, la utilización de estos brevísimos periodos de tiempo son más fáciles de mantener de manera uniforme a la temperatura de ebullición que a temperaturas menores (60 a 90 °C). Por ejemplo, se ha encontrado una respuesta en las especies de *Acacia* en relación al tiempo de exposición al agua caliente, *A. acuminata* y *A. pycnantha* soportaron 100 °C durante un máximo de cinco segundos¹⁹ y *A. terminalis* durante un máximo de 20 segundos¹⁸, pero en la mayoría de las acacias, la inmersión en agua hirviendo por más de 20 segundos es detrimental²⁰, como se ha dicho anteriormente, la inmersión de semillas de *A. melanoxylon* en agua a 100 °C por más de tres minutos puede ser muy detrimental, si el lote de semillas es de pobre calidad, es decir, permitiría la discriminación de lotes de semilla de diferentes calidades.

CONCLUSIONES

El tiempo de inmersión en agua a 100 °C que causó mayor deterioro y reducción de la germinación en las semillas de maíz fue de 8 segundos. En general, las variables evaluadas presentaron una disminución a medida que aumentaban los tiempos de inmersión en agua a 100 °C, aunque el efecto causado sobre las variables altura de plántulas, número de hojas por plántulas y peso seco de la radícula de los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003 fue leve. La inmersión en agua caliente durante breves periodos de tiempo (6 a 8 segundos) permitió diferenciar entre los cultivares para medir la calidad de la semilla.

Por otra parte, la mayor longitud de la radícula y el mayor peso seco de éstas correspondieron a los cultivares Cargill 633 e Himeca 2003, superando a las semillas del Criollo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente por el apoyo financiero otorgado al Proyecto a cargo del primer autor.

REFERENCIAS

1. FEDEAGRO. Producción Agropecuaria. <http://www.fedeagro.org/produccion/default.asp> (Visitado, agosto 15, 2006) (2006).
2. Colmenares, O. Test de envejecimiento rápido en el almacenamiento de semillas. *Fonaiap Divulga* **6** (30), 9-11 (1988).
3. Duren, M. & Jackson, S. Deterioration of rice seed using hot water. CSES 400-Rice Physiology. University of Arkansas, Fayetteville. U.S.A. <http://www.uark.edu/misc/aflsciv/cses400/dor.htm> (Visitado octubre 10, 2006) (2006).
4. Bourland, F.M., Kaiser, G. & Cabrera, E.R. Rapid deterioration of cotton, *Gossypium hirsutum* L., seed using hot water. *Seed Sci. Technol.* **16**, 673-683 (1988).
5. Furbeck, S.M., Bourland, F.M. & Cabrera, E.R. Comparison of the hot water and accelerated ageing techniques for deterioration of cottonseed. *Seed Sci. Technol.* **17** (2), 255-261 (1989).
6. Gomez, K.A. & Gomez, A.A. Statistical procedures for agricultural research. 2. (John Wiley & Sons, New York, USA, 1984).
7. Zar, J. Biostatistical analysis (3rd ed. Prentice-Hall International, Inc., New York, USA, 1996).
8. Cristea, M. & Drochioiu, G. Posibilitati de stimulare a germinatiei semintelor de Griu si porumb tratate termic. *Cercetari Agronomice in Moldova* **20**(4), 49-55 (1987).
9. Barnes, B.S. The evaluation of methods for determining seed vigor in sorghum. M.S. Thesis. Mississippi State University, Mississippi State, MS (1960).
10. Bourland, F.M. & Welch, R.A. Deterioration of cottonseed with hot water. Proceedings, Beltwide Cotton Production Research Conference. National Cotton Council, Memphis, Tennessee, USA (1985).
11. Jha, B.N., Banerjee, S.K. & Sinha, S.K. Comparative efficacy of different vigour tests. *Seed Research* **14** (2), 216-221 (1986).
12. Bhuyar, S.A., Wankhade, S.G., Paturde, J.T. & Khode, P.P. Seed germination studies in sarapagandha (*Rauvolfia serpentina* Benth.). *Research on Crops* **1**(2), 189-191 (2000).
13. Saraswathy, S., Manavalan, R.S.A., Vadivel, E., Manian, K. & Subramanian, S. Enhancement of seed germination by hot water in kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees.). *Indian Journal of Arecanut, Spices and Medicinal Plants* **5** (3), 103-106. (2003).
14. Saraswathy, S., Manavalan, R.S.A., Vadivel, E., Manian, K. & Subramanian, S. Studies on seed germination in kalmegh (*Andrographis paniculata* Nees.). *South Indian Horticulture* **52**(1/6), 286-290 (2004).
15. Zwaan, J. G. de. The effects of hot-water treatment and stratification on the germination of Blackwood (*Acacia melanoxylon*) seed. *South African Forestry Journal* **105**, 40-42 (1978).
16. Toenyan, N. Plant Data Sheet. Species: *Ceanothus sanguineus*. UW Departments Web Server University of Washington. http://depts.washington.edu/propplnt/Plants/ceanothus_sanguineus.htm (Visitado octubre 10, 2006.) (2006).
17. Kundu, M., Sharma, P., Kachari, J. & Sett, R. Effect of pretreatment on germination and seedling vigour in *Alstonia scholaris*. *Seed*

- Research* **25** (1), 16-18. (1997).
18. Clemens, J., Jones, P.G. & Gilbert, N.H. Effect of seed treatments on germination in *Acacia*. *Aust. J. Bot.* **25**, 269–276 (1977).
19. Harding, J.H. Acacia germination trials. *Australian Forestry* **5**, 53-56 (1940).
20. Doran, C., Boland, D.J., Turnbull, J.W. & Gunn, B.V. Manual sobre las semillas de acacias de zonas secas (FAO Publication, Roma, Italia, 1983).