

**DETERMINACIÓN DEL PERÍODO DE REMOJO ADECUADO  
PARA LAS MEDICIONES DE PH Y DE CONDUCTIVIDAD  
ELÉCTRICA EN SEMILLAS DE MAÍZ (ZEA MAYS)**

HILMIG VILORIA Y JESÚS MÉNDEZ-NATERA<sup>1</sup>

*Departamento de Ciencias, Unidad de Estudios Básicos,  
Universidad de Oriente, Maturín 6201, Monagas, Venezuela  
hviloriaudo@hotmail.com*

<sup>1</sup>*Departamento de Agronomía, Escuela de Ingeniería Agronómica, Núcleo  
Monagas, Universidad de Oriente, Avenida Universidad, Campus Los Guaritos,  
Maturín 6201, Monagas, Venezuela  
jmendezn@cantv.net*

*Resumen.* La conductividad eléctrica del exudado de las semillas es una medida de la integridad de la membrana celular y, por tanto, del grado de deterioro de las semillas. Se utilizaron semillas de maíz (*Zea mays* L.) de diferentes cultivares y años de adquisición para medir pH y conductividad eléctrica durante 15 períodos de remojo (2 a 30 h, en lapsos de 2 h), con la finalidad de determinar el tiempo adecuado para el cálculo de ambos parámetros, y con miras a utilizarlos para predecir el comportamiento de las semillas durante la germinación bajo diferentes condiciones. Se realizó el análisis de varianza y de regresión correspondiente, seleccionando los períodos de remojo donde hubo mayor diferencia entre las lecturas de pH y de conductividad eléctrica. Posteriormente, se graficaron los valores respectivos, permitiendo evidenciar que los mayores espaciamientos entre curvas se obtuvieron durante las 14 y 20 h de remojo. Por tal motivo, se proponen estos lapsos como los idóneos para establecer evaluaciones que permitan correlacionar pH y conductividad eléctrica con datos de pruebas de viabilidad y vigor en condiciones de laboratorio, invernadero y/o campo. *Recibido: 23 octubre 2006, aceptado: 30 abril 2007.*

*Palabras clave:* semillas, maíz, pH, conductividad eléctrica, *Zea mays*, período de remojo.

ASSESSMENT OF IDEAL SOAKING PERIOD FOR MEASURING PH AND  
ELECTRICAL CONDUCTIVITY IN CORN SEEDS (*ZEA MAYS*)

*Abstract.* Electrical conductivity of seed leakage is a measure of cell membrane integrity and, therefore, the level of seed deterioration. Corn

seeds (*Zea mays* L.) of different cultivars and acquisition years were used to measure pH and electrical conductivity during 15 soaking periods (2 to 30 h, in lapses of 2 h), to determine the ideal assessment period for both parameters, and to use them in predictions of seed behavior during germination under different conditions. Analyses of variance and regression were carried out, selecting the soaking periods with the greater differences between pH and electrical conductivity readings. The respective values were plotted, obtaining two graphs, showing that the greatest difference among curves was obtained during 14 and 20 hours of soaking. Based on these results, we propose that the 14-20 hour time lapse is ideal to establish evaluations that allow correlations between pH and electrical conductivity with viability and vigor data, under laboratory, greenhouse and/or field conditions. *Received: 23 October 2006, accepted: 30 April 2007.*

*Key words:* Seeds, corn, pH, electrical conductivity, *Zea mays*, soaking period.

## INTRODUCCIÓN

La calidad de la semilla tiene un efecto fundamental en el rendimiento, por lo que resulta importante poder discriminar entre diferentes lotes de semillas. Las semillas de alta calidad podrían sembrarse en condiciones menos óptimas, o ser almacenadas por mayor tiempo en comparación con lotes de menor vigor, pero dentro del rango de calidad. Esta selección está basada en el resultado de varias pruebas de germinación y vigor llevadas a cabo en laboratorios antes de la siembra (Colmenares 1988). Una desventaja frecuentemente asociada a la mayoría de estas pruebas es que requieren, por lo menos, entre siete y diez días para obtener resultados. Sin embargo, la prueba de conductividad eléctrica y la prueba de pH se han propuesto para proveer estimados de germinación y/o vigor de semillas en un período de 24 h o menos (Peske y Amaral 1986 y Wilson 1992).

Se conoce que el pH en el interior de las células se mantiene en un rango limitado, debido a que cambios del mismo, originan cambios en la estructura de las proteínas y en la actividad enzimática, y los cambios del pH puede ser causa del deterioro de las semillas. Una de las hipótesis que explica la causa de la mortalidad de las semillas es que ciertas enzimas no estén presentes para la síntesis de materiales para germinación (Popiginis 1977). Igualmente, el deterioro de las membranas celulares como consecuencia del envejecimiento de las semillas y de otros factores, provoca la exudación de los contenidos celulares (Hepburn *et al.* 1984). Estos exudados contienen electrolitos y la mayor o menor presencia de estos en una determinada cantidad de agua está

correlacionada con la cantidad de exudados y es un índice de la viabilidad de las semillas (ISTA 1987, Besnier 1989).

La prueba de conductividad eléctrica es una medida de la integridad de la membrana celular. Las membranas celulares tienen entre sus funciones la compartimentalización de la célula y de los organelos constituyentes en semillas viables. La pérdida de la integridad de las membranas y la subsecuente pérdida de solutos citoplasmáticos con propiedades electrolíticas son indicativas del rápido deterioro de las semillas. Por lo tanto, la evaluación de la conductividad eléctrica del exudado de las semillas debería ser una medida de su deterioro y, en consecuencia, de la calidad de las semillas para propósitos de siembra (Tajbakhsh 2000).

Peske y Amaral (1986), refieren una prueba basada en el color desarrollado por exudados de semillas de soya después de la aplicación de un indicador, señalando que exudados oscuros provienen de semillas muertas y los claros de semillas viables. Esta es una prueba simple y económica, pero subjetiva, así que es recomendable efectuar trabajos para verificar si los cambios de color están relacionados con el pH de la solución exudada, de manera tal que se puedan determinar cuantitativamente los parámetros relacionados con la germinación, a partir de valores de pH. Fernández *et al.* (1987) sugirieron, de acuerdo a los resultados de su experimento, que la prueba de viabilidad de semillas de caraota evaluada a través del pH del exudado de semillas imbibidas, necesita de mayores estudios, principalmente en cuanto al tiempo de imbibición. Por otra parte no ha sido estandarizada la prueba de conductividad eléctrica para maíz (*Zea mays*), en cuanto al tiempo de imbibición de las semillas, por lo cual es importante determinar el tiempo adecuado de remojo mediante la observación del comportamiento de las variables respuestas en diferentes tiempos de imbibición de las mismas. Schmidt y Tracy (1989) indicaron que la conductividad de exudados de la semilla constituye un posible método para medir el vigor de las plántulas en maíz dulce y otros cultivos; los genotipos exudan solutos a tasas diferentes y así es importante determinar si se producen valores diferentes de la conductividad de los exudados de la semilla cuando se determina después de varios periodos de imbibición. En Venezuela, este tipo de estudio es escaso o inexistente para determinar la calidad de las semillas de diferentes híbridos y variedades de maíz.

Fessel *et al.* (2006), en un experimento para evaluar los efectos de la temperatura (19, 20, 30, 20/10 y 30/10 °C) y el periodo de almacenamiento sobre la conductividad eléctrica de cuatro lotes de semillas de maíz,

encontraron que ésta, como una prueba de vigor, no permitió detectar el deterioro de la semilla a una temperatura de almacenamiento de 10 °C. Por el contrario, las pruebas de envejecimiento acelerado y frío mostraron una sensibilidad mayor a la declinación de la calidad fisiológica de las semillas. Vieira *et al.* (1999) reportaron una relación entre la emergencia de plántulas de soya en el campo y la conductividad eléctrica, lo cual indica que esta última puede estimar con precisión el comportamiento de las plántulas en el campo, dependiendo de las condiciones ambientales prevalecientes durante la siembra y el vigor del lote de semilla empleado. No obstante, poco se ha investigado respecto a la utilización de pruebas de pH y de conductividad eléctrica en semillas de maíz. Gotardo *et al.* (2001) citaron que el test de conductividad no ha sido tan aceptado para maíz como en soya y guisante. El presente trabajo tiene como objetivo determinar el período de remojo óptimo para la medición del pH y de la conductividad eléctrica del exudado de semillas de maíz de diferentes cultivares y de diferentes años de adquisición.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Laboratorio de Producción de Semillas del Postgrado de Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, *Campus* Juanico. Se utilizaron 12 lotes de semillas adquiridas en diferentes años y la germinación inicial fue superior al 95% (cultivar de maíz y año de adquisición):

Cultivar	Año	Cultivar	Año
Himeca 95	2003	Sefloarca 91	2003
Himeca 95	2002	Merideño	2002
Pioneer 3018	2002	Merideño	2003
Pioneer 3031	2002	Cariaco Jusepín	2000
Pioneer 3031	2003	Cariaco San Antonio	2002
Sefloarca 91	2002	Cariaco Jusepín	2003

Las semillas de los 12 lotes una vez adquiridas se almacenaron a bajas temperaturas ( $5 \pm 1$  °C) en el Laboratorio de Semillas para retardar su deterioro, debido al largo periodo de tiempo transcurrido entre su adquisición y la fecha de realización de la prueba de conductividad eléctrica (abril de 2004), especialmente en el caso de los lotes adquiridos en el 2000 y 2002. Las semillas se lavaron con agua corriente para eliminar la presencia del fungicida Vitavax (AOSA 1983), aunque Loeffler *et al.* (1988) y Marchi y Cicero (2003) reportaron que estos productos no afectan los valores de conductividad eléctrica.

Se hicieron dos repeticiones (25 semillas de cada cultivar) colocadas en vasos plásticos (135 mL), con 25 mL de agua destilada por períodos de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28 y 30 h, y al final de estos lapsos se midió la conductividad eléctrica, el pH y la temperatura del agua de remojo. Se utilizaron 25 semillas debido a una baja cantidad de semillas de algunos de los lotes. García Dos Santos y De Paula (2005) indicaron que cuando se realiza la prueba con un bajo número de semillas, se emplean volúmenes menores de imbibición (por ejemplo, 50 mL). Algunos autores no han encontrado efecto del número de semillas sobre los valores de conductividad eléctrica (De Sá 1999, Marques *et al.* 2002a, Gaspar y Nakagawa 2002a). El pH y la temperatura se midieron con un pHmetro marca Oakton pH 10 series, modelo 35674-02 y la conductividad eléctrica con un conductímetro marca Oakton, modelo 35661-41.

El diseño estadístico utilizado fue el de parcelas divididas. Las parcelas principales correspondieron a los doce lotes de semillas de maíz y las subparcelas estuvieron constituidas por los 15 periodos de imbibición. Se utilizaron dos repeticiones. El nivel de significación fue 5%. El modelo estadístico utilizado fue:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \xi_{ij} + \rho_k + \alpha\rho_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$Y_{ijk}$  = Valores de pH y conductividad eléctrica.

$\mu$  = Media general.

$\beta_j$  = Efecto del j - ésimo bloque (repetición).

$\alpha_i$  = Efecto del i - ésimo lote de semillas.

$\xi_{ij}$  = Error experimental asociado a los lotes de semillas (parcela principal).

$\rho_k$  = Efecto del k - ésimo de los periodos de imbibición.

$\alpha\rho_{ik}$  = Efecto debido a la interacción del j - ésimo lote de semilla con el k - ésimo periodo de imbibición.

$\varepsilon_{ijk}$  = Error experimental asociado al periodo de imbibición (subparcela).

El análisis de varianza, para los datos de pH y conductividad eléctrica, se aplicó utilizando el programa Statistix versión 8 y un análisis de regresión mediante el programa SPSS versión 12. Los tiempos adecuados de imbibición se seleccionaron donde hubo mayores diferencias entre las lecturas de pH y de conductividad eléctrica entre lotes de semillas, previa construcción de la gráfica de los datos de acuerdo a las ecuaciones de regresión obtenidas.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza y el análisis de regresión para los valores de pH durante los 15 períodos de remojo se señalan en la Tabla 1 y las ecuaciones de regresión con sus valores de  $R^2$  se muestran en la Tabla 2. Existen diferencias significativas entre cultivares, tiempo e interacción cultivar x tiempo. Para los cultivares Cariaco Jusepín-2000, Cariaco San Antonio-2002, Merideño-2002 y Sefloarca 91-2002, hubo diferencias significativas para el cultivar en tiempo, y una regresión lineal y regresión cuadrática. Para Cariaco Jusepín-2003 y Merideño-2003 se encontraron diferencias significativas para cultivar en tiempo y regresión lineal; Pioneer 3031-2002 y Sefloarca 91-2003 mostraron diferencias significativas en cultivar, tiempo y regresión cuadrática, mientras Himeca 95-2002 sólo para la regresión cuadrática e Himeca 95-2003 y Pioneer 3031-2003 para la regresión lineal.

El análisis de varianza y el análisis de regresión para los valores de conductividad eléctrica durante los 15 períodos de remojo se señalan en la Tabla 3 y las ecuaciones de regresión con sus valores de  $R^2$  se muestran en la Tabla 4. Existen diferencias significativas entre cultivares, tiempo e interacción cultivar x tiempo. Sefloarca 91-2002, presentó significación para la regresión lineal y cuadrática, el resto de los cultivares arrojaron significación para cultivar en tiempo y para la regresión lineal. Pioneer 3031-2002 también mostró significación para la regresión cúbica.

La temperatura del agua de remojo varió poco, registrándose valores entre 23,8 y 25,1 °C. Bales *et al.* (2005) reportaron que algunos medidores de conductividad pueden efectuar una compensación automática de temperatura, pero tal compensación de los medidores no es generalmente confiable; por esta razón toda el agua debería estar a temperatura ambiente (20–30 °C) para la evaluación de la conductividad, aún cuando el fabricante indique que el conductímetro es de temperatura compensada.

Gaspar y Nakagawa (2002b) estudiaron el efecto de cinco temperaturas de imbibición (20, 25, 30, 35 y 40 °C) en tres lotes de semillas de *Pennisetum americanum* (L.), sin y con control de la temperatura inicial de imbibición, y encontraron que el mayor valor de conductividad ocurrió a 35 y 40 °C en ambas condiciones. No hubo diferencias en los valores de conductividad a las temperaturas de 20, 25 y 30 °C (sin control de temperatura). La conductividad fue similar, a temperaturas de 20 y 25 °C, con el control de temperatura. En todos los casos no hubo una interacción significativa entre la temperatura, control de temperatura y lotes de semillas. En este experimento la temperatura

Tabla 1. Análisis de varianza y análisis de regresión para valores de pH del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays*) durante 15 periodos de inmersión.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Repeticiones	1	0,0368	0,0368	2,699	ns
Cultivares (C)	11	10,3745	0,9431	69,163	*
Error (a)	11	0,1500	0,0136		
Tiempo Inm (T)	14	3,0946	0,2210	20,873	*
C * T	154	3,2741	0,0213	2,008	*
CV1 † en T	14	0,6073	0,0434	4,097	*
Reg. Lineal	1	0,2737	0,2737	25,844	*
Reg. Cuadrática	1	0,2141	0,2141	20,215	*
CV2 en T	14	0,9590	0,0685	6,468	*
Reg. Lineal	1	0,7748	0,7748	73,164	*
CV3 en T	14	0,7200	0,0514	4,857	*
Reg. Lineal	1	0,3954	0,3954	37,336	*
Reg. Cuadrática	1	0,0974	0,0974	9,201	*
CV4 en T	14	0,2330	0,0166	1,572	ns
Reg. Cuadrática	1	0,1308	0,1308	12,353	*
CV5 en T	14	0,1375	0,0098	0,928	ns
Reg. Lineal	1	0,0413	0,0413	3,901	*
CV6 en T	14	0,7413	0,0530	5,000	*
Reg. Lineal	1	0,3332	0,3332	31,465	*
Reg. Cuadrática	1	0,0990	0,0990	9,349	*
Efecto Residual	11	0,3077	0,0280	2,641	*
CV7 en T	14	0,3702	0,0264	2,497	*
Reg. Lineal	1	0,0988	0,0988	9,334	*
Efecto Residual	11	0,2243	0,0204	1,926	*
CV8 en T	14	0,5599	0,0400	3,776	*
Efecto Residual	11	0,5465	0,0497	4,691	*
CV9 en T	14	0,4014	0,0287	2,707	*
Reg. Cuadrática	1	0,1724	0,1724	16,275	*
CV10 en T	14	0,2160	0,0154	1,457	ns
Reg. Lineal	1	0,0554	0,0554	5,232	*
CV11 en T	14	1,1046	0,0789	7,450	*
Reg. Lineal	1	0,4669	0,4669	44,090	*
Reg. Cuadrática	1	0,2330	0,2330	22,000	*
Efecto Residual	11	0,4007	0,0364	3,440	*

Tabla 1. Cont.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
CV12 en T	14	0,3184	0,0227	2,147	*
Reg. Cuadrática	1	0,0822	0,0822	7,767	*
Error (b)	168	1,7791	0,0106		
Total	359	18,7091			

† Lotes de semillas: CV1: Cariaco Jusepín (2000), CV2: Cariaco Jusepín (2003), CV3: Cariaco San Antonio (2002), CV4: Himeca 95 (2002), CV5: Himeca 95 (2003), CV6: Merideño (2002), CV7: Merideño (2003), CV8: Pioneer 3018 (2002), CV9: Pioneer 3031 (2002), CV10: Pioneer 3031 (2003), CV11: Sefloarca 91 (2002), CV12: Sefloarca 91 (2003). El número entre paréntesis = año de adquisición de la semilla. CV (a) = 2,27%, CV (b) = 2,00%. GL = grados de libertad, \*significativo ( $P \leq 0,05$ ), ns = no significativo ( $P > 0,05$ ).

Tabla 2. Ecuaciones de regresión con sus respectivos  $R^2$  (%) para valores de pH del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays* L.) durante 15 períodos de inmersión ( $R^2$  total = 54,46).

Cariaco Jusepín-2000 en tiempo (h): X	
Y = 5,4764 - 0,051803 X + 0,001273 X <sup>2</sup>	$R^2 = 80,31$
Cariaco Jusepín-2003 en tiempo (h): X	
Y = 5,475905 - 0,018598 X	$R^2 = 80,80$
Cariaco San Antonio-2002 en tiempo (h): X	
Y = 5,484692 - 0,040778 X + 0,000859 X <sup>2</sup>	$R^2 = 68,44$
Himeca 95-2002 en tiempo (h): X	
Y = 5,209275 - 0,034819 X + 0,000995 X <sup>2</sup>	$R^2 = 56,13$
Himeca 95-2003 en tiempo (h): X	
Y = 5,227381 - 0,004295 X	$R^2 = 30,04$
Merideño-2002 en tiempo (h): X	
Y = 5,356179 - 0,039908 X + 0,000866 X <sup>2</sup>	$R^2 = 58,30$
Merideño-2003 en tiempo(h): X	
Y = 4,987286 - 0,006649 X	$R^2 = 26,70$
Pioneer 3018-2002 en tiempo (h): X	no significativo
Pioneer 3031-2003 en tiempo (h): X	
Y = 5,650912 - 0,040359 X + 0,001143 X <sup>2</sup>	$R^2 = 42,94$
Pioneer 3031-2002 en tiempo (h): X	
Y = 5,529571 - 0,004973 X	$R^2 = 25,65$
Sefloarca 91-2002 en tiempo (h): X	
Y = 5,646231 - 0,056949 X + 0,001328 X <sup>2</sup>	$R^2 = 63,36$
Sefloarca 91-2003 en tiempo (h): X	
Y = 5,558132 - 0,028696 X + 0,000789 X <sup>2</sup>	$R^2 = 25,84$

Tabla 3. Análisis de varianza y análisis de regresión para valores de conductividad eléctrica (mS/cm) del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays* L.) durante 15 períodos de inmersión.

Fuente de Variación	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	P
Repeticiones	1	0,00025	0,0003	0,07	ns
Cultivares (C)	11	1,08764	0,0989	27,14	*
Error (a)	11	0,04008	0,0036		
Tiempo Inm (T)	14	2,20039	0,1572	53,38	*
C * T	154	0,71694	0,0047	1,58	*
CV1 † en T	14	0,24467	0,0175	5,94	*
Reg. Lineal	1	0,22400	0,2240	76,07	*
CV2 en T	14	0,28800	0,0206	6,99	*
Reg. Lineal	1	0,23616	0,2362	80,20	*
CV3 en T	14	0,10467	0,0075	2,54	*
Reg. Lineal	1	0,04645	0,0464	15,77	*
CV4 en T	14	0,21467	0,0153	5,21	*
Reg. Lineal	1	0,19314	0,1931	65,60	*
CV5 en T	14	0,46467	0,0332	11,27	*
Reg. Lineal	1	0,44016	0,4402	149,49	*
CV6 en T	14	0,17800	0,0127	4,32	*
Reg. Lineal	1	0,12902	0,1290	43,82	*
CV7 en T	14	0,24467	0,0175	5,94	*
Reg. Lineal	1	0,21607	0,2161	73,38	*
CV8 en T	14	0,24467	0,0175	5,94	*
Reg. Lineal	1	0,15114	0,1511	51,33	*
CV9 en T	14	0,44800	0,0320	10,87	*
Reg. Lineal	1	0,39645	0,3964	134,64	*
Reg. Cúbica	1	0,01185	0,0118	4,02	*
CV10 en T	14	0,10867	0,0078	2,64	*
Reg. Lineal	1	0,09002	0,0900	30,57	*
CV11 en T	14	0,06200	0,0044	1,50	ns
Reg. Lineal	1	0,01400	0,0140	4,75	*
Reg. Cuadrática	1	0,01164	0,0116	3,95	*
CV12 en T	14	0,31466	0,0225	7,63	*
Reg. Lineal	1	0,28350	0,2835	96,28	*
Error (b)	168	0,49467	0,0029		
Total	359	4,53997			

†Lotes de semillas: CV1: Cariaco Jusepín-2000, CV2: Cariaco Jusepín-2003, CV3: Cariaco San Antonio-2002, CV4: Himeca 95-2002, CV5: Himeca 95-2003, CV6: Merideño-2002, CV7: Merideño-2003, CV8: Pioneer 3018-2002, CV9: Pioneer 3031-2002, CV10: Pioneer 3031-2003, CV11: Sefloarca 91-2002 y CV12: Sefloarca 91-2003. CV (a) = 40,32%, CV (b) = 36,24%; GL = grados de libertad, \*significativo ( $P \leq 0,05$ ), ns = no significativo ( $P > 0,05$ ). Se omitieron aquellas regresiones (lineal, cuadrática y cúbica) y el efecto residual no significativos ( $P > 0,05$ ).

Tabla 4. Ecuaciones de regresión con sus respectivos  $R^2$  (%) para valores de conductividad eléctrica (mS/cm) del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays* L.) durante 15 periodos de inmersión ( $R^2$  total = 83,76).

Cariaco Jusepín-2000 en tiempo (h): X Y = 0,023333 + 0,01 X	$R^2 = 91,55$
Cariaco Jusepín (2003) en tiempo (h): X Y = 0,015714 + 0,010268 X	$R^2 = 82,00$
Cariaco San Antonio-2002 en tiempo (h): X Y = 0,02381 + 0,004554 X	$R^2 = 44,38$
Himeca 95-2002 en tiempo (h): X Y = -0,001905 + 0,009286 X	$R^2 = 89,97$
Himeca 95-2003 en tiempo (h): X Y = -0,0390048 + 0,014018 X	$R^2 = 94,73$
Merideño-2002 en tiempo (h): X Y = 0,008571 + 0,007589 X	$R^2 = 72,48$
Merideño-2003 en tiempo (h): X Y = -0,010476 + 0,009821 X	$R^2 = 88,31$
Pioneer 3018-2002 en tiempo (h): X Y = 0,015238 + 0,008214 X	$R^2 = 61,78$
Pioneer 3031-2003 en tiempo (h): X Y = -0,51136 + 0,036961 X + 0,001872 X <sup>2</sup> + 0,000040195 X <sup>3</sup>	$R^2 = 91,14$
Pioneer 3031-2002 en tiempo (h): X Y = 0,025238 + 0,006339 X	$R^2 = 82,84$
Sefloarca 91-2002 en tiempo (h): X Y = 0,053846 - 0,007002 X + 0,000297 X <sup>2</sup>	$R^2 = 41,36$
Sefloarca 91-2003 en tiempo (h): X Y = -0,026667 + 0,01125 X	$R^2 = 90,10$

del agua estuvo en el rango adecuado de 20 a 30 °C. Por otra parte, Sørensen *et al.* (1996) indicaron que para obtener resultados reproducibles, la temperatura debería mantenerse constante durante toda la prueba debido a que la conductividad se incrementa con el aumento en la temperatura. En este experimento la temperatura se mantuvo constante con una variación de sólo 1,3 °C.

En la Figura 1, se grafica el pH del agua de remojo de las semillas durante los 15 periodos de inmersión. No hubo homogeneidad entre los 12 lotes de semillas. Sin embargo, prevaleció una respuesta cuadrática para los cultivares Cariaco Jusepín-2000, Cariaco San Antonio-2002, Himeca 95-2002, Merideño-2002, Pioneer 3031-2002, Sefloarca 91-2002 y Sefloarca 91-2003. El resto de los cultivares presentaron respuestas lineales, disminuyendo los

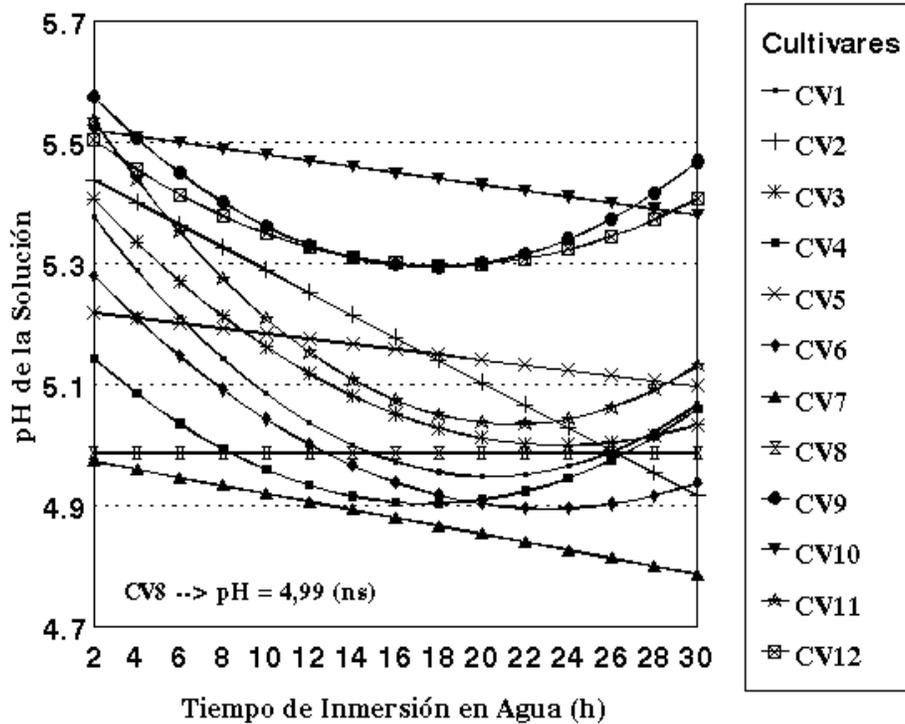


Figura 1. Valores de pH del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays*) durante 15 períodos de inmersión. CV1: Cariaco Jusepín-2000, CV2: Cariaco Jusepín-2003, CV3: Cariaco San Antonio-2002, CV4: Himeca 95-2002, CV5: Himeca 95-2003, CV6: Merideño-2002, CV7: Merideño-2003, CV8: Pioneer 3018-2002, CV9: Pioneer 3031-2002, CV10: Pioneer 3031-2003, CV11: Sefloarca 91-2002 y CV12: Sefloarca 91-2003.

valores de pH a medida que aumenta el tiempo de remojo. Destaca el cultivar Pioneer 3018-2002, que mostró muy poca variación en los pH medidos, por lo cual no hubo diferencias significativas entre los periodos de imbibición.

En la Tabla 5 se observan las reducciones (valores de pH) e incrementos (valores de conductividad eléctrica) para la comparación dentro de cada cultivar en el tiempo de imbibición que causó la mayor reducción o incremento. Se observa que las reducciones del pH, dentro de cada cultivar, presentaron una tendencia similar, es decir, los cultivares adquiridos primero tuvieron porcentajes de reducción mayores que los adquiridos más recientemente; ésto ocurrió para Himeca 95, Merideño, Pioneer 3031 y Sefloarca 91. En el caso de Cariaco, la reducción fue menor en los cultivares adquiridos más

Tabla 5. Porcentaje de reducción (% Red) para los valores de pH y porcentaje de incremento (% Inc) para los valores de conductividad eléctrica en el agua de remojo de 11 lotes de semillas de maíz (*Zea mays* L.) en el tiempo de imbibición que causó la mayor reducción o incremento. †

Cultivar de Maíz-Año de Adquisición	pH			Conductividad eléctrica (mS/cm)		
	1/	2/	% Red	1/	2/	% Inc
Cariaco-2000	5,38	4,95 (20)	7,99	0,017	0,277	1629,4
Cariaco-2002	5,41	5,00 (24)	7,58	0,033	0,128	387,9
Cariaco-2003	5,44	4,92 (30)	9,56	0,036	0,288	800,0
Himeca 95-2002	5,14	4,90 (18)	4,67	0,017	0,260	1529,4
Himeca 95-2003	5,22	5,10 (30)	2,30	0,067	0,393	586,6
Merideño-2002	5,28	4,90 (24)	7,20	0,024	0,212	883,3
Merideño-2003	4,97	4,79 (30)	3,62	0,009	0,275	3055,5
Pioneer 3031-2002	5,57	5,29 (18)	5,03	0,016	0,458	2862,5
Pioneer 3031-2003	5,52	5,38 (30)	2,54	0,038	0,215	565,8
Sefloarca 91-2002	5,54	5,04 (22)	9,03	0,041	0,111	270,7
Sefloarca 91-2003	5,50	5,30 (18)	3,64	0,018	0,311	1727,8

† Se omite el lote Pioneer 3018-2002, por estar con un solo año de adquisición.

1/ pH y conductividad eléctrica al inicio del ensayo (2 h), excepto para los valores de conductividad eléctrica de los cultivares Cariaco-2000 y Sefloarca 91-2003 determinada a las 4 h.

2/ Valores entre paréntesis para el tiempo (h) cuando se alcanzó el menor valor de pH, para el caso de la conductividad eléctrica siempre fue 30 h.

tardíamente. Resultados similares fueron indicados por Verma *et al.* (2003) trabajando con semillas de dos variedades de *Brassica campestris* (Sangam y TH 69) almacenadas durante cuatro años bajo condiciones ambientales. Ellos estudiaron cuatro lotes de semillas de ambas variedades para varios caracteres de calidad de semilla y encontraron que el pH de los exudados de la semilla disminuyó significativamente a medida que la edad de estas se incrementó. Sin embargo, esta disminución fue más rápida en semillas de 3 y 4 años de edad en ambas variedades. Esta tendencia se observó para el caso de la conductividad eléctrica sólo en Himeca 95 y Pioneer 3031 y parcialmente para Cariaco, es decir, los cultivares adquiridos primero tuvieron porcentajes de incremento mayores que ese mismo cultivar adquirido posteriormente. Verma *et al.* (2003) reportaron que la conductividad eléctrica se incrementó significativamente con incrementos en la edad de la semilla.

La Figura 2 señala la variación de la conductividad eléctrica con respecto al tiempo de inmersión de las semillas. Se observa que a medida que aumenta el período de remojo incrementan los valores de conductividad eléctrica para todos los lotes. Con excepción de Pioneer 3031-2002 que obtuvo una respuesta cúbica y Sefloarca 91-2002 con respuesta cuadrática, el resto de los cultivares presentaron respuestas lineales.

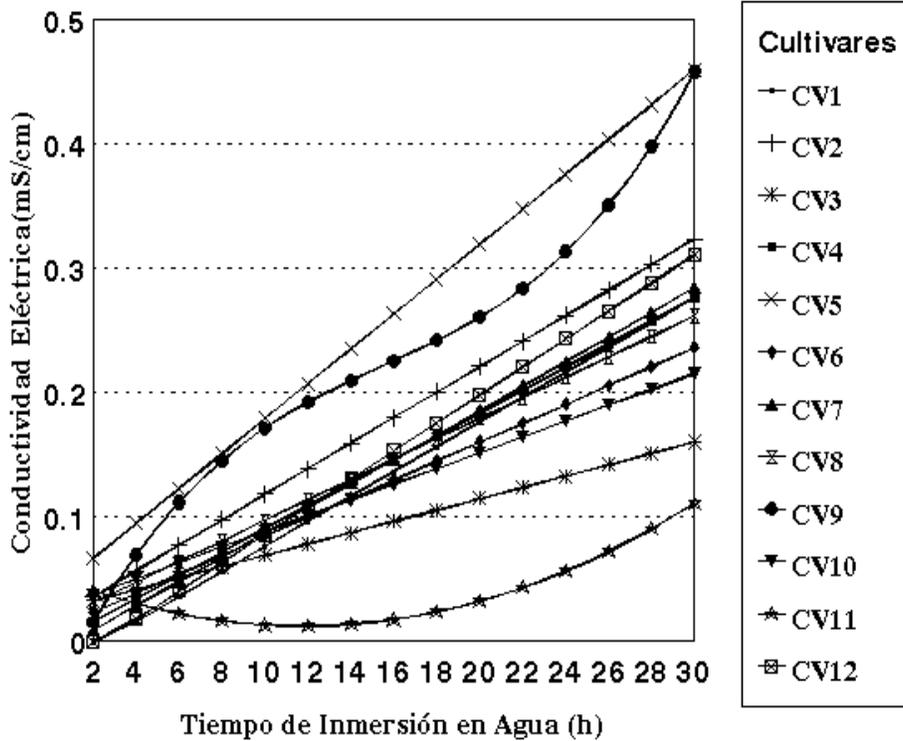


Figura 2. Valores de conductividad eléctrica (mS/cm) del agua de remojo de 12 lotes de semillas de maíz (*Zea mays*) durante 15 períodos de inmersión. CV1: Cariaco Jusepín-2000, CV2: Cariaco Jusepín-2003, CV3: Cariaco San Antonio-2002, CV4: Himeca 95-2002, CV5: Himeca 95-2003, CV6: Merideño-2002, CV7: Merideño-2003, CV8: Pioneer 3018-2002, CV9: Pioneer 3031-2002, CV10: Pioneer 3031-2003, CV11: Sefloarca 91-2002, CV12: Sefloarca 91-2003.

Se observó un incremento de los valores de conductividad eléctrica con mayores tiempos de imbibición. Resultados similares se han reportados por Marques *et al.* (2002b) trabajando con semillas de *Dalbergia nigra*, con tiempos de imbibición de 6, 12, 18, 24, 30 y 36 h e independientemente de la temperatura de imbibición y de la calidad de los lotes de semillas. Vanzolini y

Nakagawa (2005) evaluaron tres lotes de semillas de maní en 10 periodos de imbibición (3 a 30 h, cada tres h) y la conductividad eléctrica mostró una tendencia al aumento en la cantidad de electrolitos liberados por las semillas con el correr del tiempo de imbibición. Dutra y Vieira (2006) encontraron que la conductividad eléctrica de semillas de calabaza se incrementó con aumentos de los periodos de imbibición (1, 2, 4, 8, 12, 16, 20 y 24 h). Garcia Dos Santos y De Paula (2005) quienes trabajaron con semillas de *Sebastiania commersoniana* y periodos de imbibición de 0, 20, 40, 60 y 80 h e indicaron que la prueba puede ser conducida a 25 °C con el uso de 75 semillas imbibidas en 75 mL de agua durante 24 h. También sugirieron que el uso de periodos de imbibición de 24 h es práctico para ser adoptado como rutina en los laboratorios de análisis y presenta la ventaja de identificar de modo más acentuado, las diferencias entre lotes.

Gotardo *et al.* (2001), utilizando semillas de maíz, reportaron que a partir de 18 h de imbibición la prueba de conductividad eléctrica se torna más sensible para diferenciar calidades entre lotes. Los períodos de 24 y 30 h de remojo fueron más sensibles para la clasificación por vigor. Al respecto, Peske y Amaral (1986), realizaron un estudio para verificar si el cambio de color estaba relacionado con el pH y determinar el punto de separación entre semillas viables y no viables y su relación con parámetros cuantitativos relacionados con la germinación. Así, estos autores señalan para soya (*Glycine max*), cultivar Braga, que existe una estrecha relación entre el pH del exudado de las semillas y su germinación, citando que el punto de división entre viabilidad y no viabilidad de las semillas fue a pH 5,8 al imbibirlas por 20 h a 25 °C.

Hopper y Hinton (1987) obtuvieron resultados similares a los de este estudio, cuando relacionaron la conductividad eléctrica como medida de calidad de semillas de algodón. Estos autores reportaron significación ( $P < 0,01$ ) entre la interacción cultivar por tiempo, considerando que la tasa de exudación de solutos desde las semillas varía entre cultivares y es afectada por el tiempo de inmersión. También, indicaron que el tiempo de remojo afectó significativamente ( $P < 0,01$ ) el valor de conductividad eléctrica, el cual varió de 7 a 46  $\mu\text{A}$  en semillas remojadas desde 0,5 hasta 24 h, respectivamente. Señalaron 16 h como el punto de separación para tomar las medidas de conductividad eléctrica.

Siddique y Goodwin (1985), reseñan que, al menos en vainitas cv. Apollo, el período de remojo que mejor predice la calidad de las semillas es de 16 h a una temperatura de 25 °C. También refieren que la conductividad eléctrica del agua de remojo de las semillas está relacionado con la calidad de las mismas, y

asumiendo que la conductividad eléctrica mide la función de las membranas, sugieren que su integridad se daña menos cuando las semillas se secan lentamente. La habilidad de la semilla en regenerar la función de las membranas durante la imbibición está bien relacionada con la habilidad de producir germinación normal. De este modo, la prueba aplicada por estos autores puede ser utilizada para predecir la germinación normal de un lote de semillas.

Los resultados expuestos en cuanto al tiempo de remojo de las semillas por Hopper y Hinton (1987) (16 h), Gotardo *et al.* (2001) ( $\geq 18$  h) y Siddique y Goodwin (1985) (16 h) son similares a los obtenidos en la presente investigación, siendo 14 y 20 h de inmersión los tiempos más adecuados de remojo. En ambas Figuras 1 y 2 se evidencia que los mayores espaciamientos entre curvas se obtienen durante las 14 y 20 h de remojo, por tal motivo se proponen estos lapsos como los idóneos para establecer evaluaciones que permitirán correlacionar pH y conductividad eléctrica con datos de pruebas de viabilidad y vigor en condiciones de laboratorio, invernadero y/o campo. Sørensen *et al.* (1996) indicaron que, cuando se utilizan las mediciones de conductividad como una prueba, usualmente se realiza una sola determinación de la misma. Es por lo tanto, importante medir la conductividad en la parte horizontal de la curva. Por lo menos cuatro a seis diferentes lotes de semillas deberían ser usados para realizar estas curvas, sobre las cuales el período de imbibición es determinado. Estos autores indicaron que el período estará típicamente entre las 16 y 24 horas.

#### CONCLUSIONES

Basado en la mayor variación entre los 12 lotes de semillas de maíz para las figuras de la conductividad eléctrica y pH en función del tiempo de imbibición, se sugieren los tiempos de inmersión de 14 y 20 horas como los más adecuados para determinar el pH y la conductividad eléctrica del agua de remojo de las semillas de los lotes de maíz, utilizando 25 semillas colocadas en vasos plásticos de 135 mL, con 25 mL de agua destilada.

#### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos el uso del Laboratorio de Producción de Semillas del Postgrado de Agricultura Tropical, Universidad de Oriente, *Campus* Juanico.

## LITERATURA CITADA

- (AOSA) ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSTS. 1983. Seed vigour testing handbook. Contribution No. 32, Lincoln, NE, USA.
- BALES, R., M. CONKLIN, J. MORRIL Y A. LEONARD. 2005. Electrical conductivity protocol. GLOBE Hydrology Team, University of Arizona, 11 pp.
- BESNIER, F. 1989. Semillas: Biología y tecnología. Edic. Mundi-Prensa, Madrid.
- COLMENARES, O. 1988. Teste de envejecimiento rápido en el almacenamiento de semillas. *Fonaiap Divulga* 6(30): 9–11.
- DE SÁ, M. E. 1999. Condutividade elétrica em sementes de tomate (*Lycopersicon lycopersicum* L.). *Scientia Agricola* 56: 13–20.
- DUTRA, A. S. Y R. D. VIEIRA. 2006. Teste de condutividade elétrica para a avaliação do vigor de sementes de abobrinha. *Revista Brasileira de Sementes* 28(2): 117–122.
- FERNANDES, E. J., R. SADER Y N. M. CARVALHO. 1987. Viabilidade de sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) estimada pelo pH do exudato. *Revista Brasileira de Sementes* 9(3): 69–75.
- FESSEL, S. A., R. D. VIEIRA, M. C. PESSOA DA CRUZ, R. C. DE PAULA Y M. PANOBIANCO. 2006. Electrical conductivity testing of corn seeds as influenced by temperature and period of storage. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(10): 1551–1559.
- GARCÍA DOS SANTOS, S. R. Y R. C. DE PAULA. 2005. Teste de condutividade elétrica para avaliação da qualidade fisiológica de sementes de *Sebastiania commersoniana* (Bail) Smith & Downs–Euphorbiaceae. *Revista Brasileira de Sementes* 27(2): 136–145.
- GASPAR, C. M. Y J. NAKAGAWA. 2002a. Teste de condutividade elétrica em função do número de sementes e da quantidade de água para sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes* 24(2): 70–76.
- GASPAR, C. M. Y J. NAKAGAWA. 2002b. Teste de condutividade elétrica em função do período e da temperatura de embebição para sementes de milho. *Revista Brasileira de Sementes* 24(2): 82–89.
- GOTARDO, M., R. D. VIEIRA Y L. M. A. PEREIRA. 2001. Teste de condutividade elétrica em sementes de milho. *Revista Ceres* 48(277): 333–340.
- HEPBURN, H. A., A. A. POWELL Y S. MATTHEWS. 1984. Problems associated with the routine application of electrical conductivity measurements of individual seeds in the germination testing of peas and soybeans. *Seed Science and Technology* 12(3): 403–413.
- HOPPER, N. W. Y H. R. HINTON. 1987. Electrical conductivity as a measure of planting seed quality in cotton. *Agronomy Journal* 79: 147–152.
- (ISTA) INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 1987. Handbook of vigour test methods (2 ed.). Edit. F. Fiala, Zurich, Switzerland.
- MARCHI, J. L. Y S. M. CICERO. 2003. Influence of chemical treatment of maize seeds with different levels of mechanical damage on electrical conductivity values. *Seed Science and Technology* 31(2): 481–486.
- MARQUES, M. A., R. C. PAULA Y T. J. D. RODRIGUES. 2002a. Efeito do número de

- sementes e do volume de água na condutividade elétrica de sementes de *Dalbergia nigra* (Vell.) Fr.All. ex Benth. *Revista Brasileira de Sementes* 24(1): 254–262.
- MARQUES, M. A., R. C. PAULA Y T. J. D. RODRIGUES. 2002b. Adequação do teste de condutividade elétrica para determinar a qualidade fisiológica de sementes de jacarandá-da-bahia (*Dalbergia nigra* (Vell.) Fr. All. ex. Benth). *Revista Brasileira de Sementes* 24(1): 271–278.
- LOEFFLER, T. M., D. M. TE KRONY Y D. B. EGLI. 1988. The bulk conductivity test as an indicator of soybean quality. *J. Seed Technology* 12: 37–53.
- PESKE, S. T. Y A. AMARAL. 1986. Prediction of germination of soybean seeds by measurement of pH of seed exudates. *Seed Science and Technology* 14: 151–156.
- POPIGINIS, F. 1977. *Fisiología da sementes*. Argiplan, Brasilia, 289 pp.
- SIDDIQUE, M. A. Y P. B. GOODWIN. 1985. Conductivity measurements on single seeds to predict the germinability of French beans. *Seed Science and Technology* 13: 643–652.
- SCHMIDT, D. H. Y W. F. TRACY. 1989. Duration of imbibition affects seed leachate conductivity in sweet corn. *HortScience* 24(2): 346–347.
- SØRENSEN, A., E. BRASK-LAURIDSEN Y K. THOMSEN. 1996. Electrical conductivity test. Technical Note No. 45. Danida Forest Seed Centre, Humlebaek, Denmark, 21 pp.
- TAJBAKSH, M. 2000. Relationships between electrical conductivity of imbibed seeds leachate and subsequent seedling growth (Viability and vigour) in Omid wheat. *J. Agricultural Science and Technology* 2(1): 67–71.
- VANZOLINI, S. Y J. NAKAGAWA. 2005. Teste de condutividade elétrica em sementes de amendoim. *Revista Brasileira de Sementes* 27(2): 151–158.
- VERMA, S. S., U. VERMA Y R. P. S. TOMER. 2003. Studies on seed quality parameters in deteriorating seeds in Brassica (*Brassica campestris*). *Seed Science and Technology* 31(2): 389–396.
- VIEIRA, R. D., J. A. PAIVA-AGÜERO Y D. PERECIN. 1999. Electrical conductivity and field performance of soybean seeds. *Seed Technology* 21(1): 15–24.
- WILSON, D., JR. 1992. A unified approach to interpretation of single seed conductivity data. *Seed Science and Technology* 20: 155–163.