

CALIDAD FISIOLÓGICA Y DAÑO FÍSICO EN SEMILLA DE MAÍZ SOMETIDA A IMPACTO*

PHYSIOLOGICAL QUALITY AND PHYSICAL DAMAGE OF MAIZE SEEDS SUBJECTED TO IMPACT

Arturo Mancera Rico^{1§}, Gabino García de los Santos¹, Aquiles Carballo Carballo¹, Carlos Alberto Villaseñor Perea², Ángel Martínez Garza³ y Victoria Estrada Trejo¹

¹Producción de Semillas, Recursos Genéticos y Productividad, Colegio de Postgraduados. Km. 35.5 carretera México- Texcoco. 56230 Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. ²Departamento de Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. ³Estadística, Instituto de Socioeconomía e Informática, Colegio de Postgraduados. [§]Autor para correspondencia: artuomr87@hotmail.com

RESUMEN

El daño por impacto a la semilla de maíz es causa de baja calidad física, fisiológica y sanitaria. En este estudio, realizado en el Laboratorio de Análisis de Semillas del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México en 2005, se evaluó el daño causado por impacto y envejecimiento acelerado sobre la calidad física y fisiológica de semillas de maíz. Se tomaron muestras de semilla de la porción apical, media y basal de mazorca del híbrido HS-2 con 10 y 23% de contenido de humedad. Éstas se colocaron en una plataforma con el embrión hacia arriba y fueron impactadas con una pieza cilíndrica de hierro de 243 g por caída libre de la misma, equivalente a 0.000, 0.141, 0.188 y 0.235 J. Parte de las semillas impactadas se sometieron a envejecimiento acelerado y se determinó la calidad física y fisiológica. La mayor calidad se observó en las semillas con 23% de humedad de las porciones central y basal de mazorca. Las semillas impactadas con 10 y 23% de humedad mostraron 34 y 25% sin daño visible, 80 y 69% de germinación estándar, 74 y 40% de germinación después del envejecimiento acelerado y 23 y 53 μScm^{-1} de conductividad eléctrica (pérdida de electrolitos por gramo de semilla), respectivamente. Para las semillas ubicadas en las porciones apical, media y basal, los porcentajes de semillas sin daño visible fueron de 25, 31 y 31%; el porcentaje de germinación estándar fue de 62, 82 y 81, la tasa de germinación posterior al envejecimiento acelerado

fue de 30, 74 y 80%, y la conductividad eléctrica fue de 54, 25 y 23 μScm^{-1} . Los porcentajes de semillas dañadas y la disminución en la calidad fisiológica observados fueron relativamente proporcionales a la energía de impacto aplicada, a excepción de la tasa de germinación.

Palabras clave: *Zea mays* L., contenido de humedad en la semilla, estrato de la mazorca.

ABSTRACT

Damage caused by physic impacts diminishes the physical and physiological quality of corn seeds. The object of this study was to evaluate the damage caused by an impact and an accelerated ageing test on the physical and physiological quality of corn seeds. The experiment was performed in the Seed Analysis Laboratory at the Colegio de Postgraduados, Montecillo, State of Mexico, Mexico in 2005. Seed samples from the apical, middle and basal portion of the cob were collected with 10 and 23% of moisture content. The seeds were placed on a table with the embryo upward and impacted by the free falling of an iron 243 g cylinder equivalent to 0.000, 0.141, 0.188 and 0.235 J; subsequently, half of the seeds were subjected to an accelerated ageing test. The highest physical and physiological quality was observed in

* Recibido: Septiembre de 2005
Aceptado: Mayo de 2007

seeds with 23% of moisture content and from the middle and basal positions of the cob. In seeds impacted at 23 and 10% of moisture content, the percentages observed without visible damage were 34 and 25, standard germination percentages 80 and 69, germination after accelerated ageing test was 74 and 40% and the electrolyte loss (electrical conductivity per gram of seed) were 23 and 53 μScm^{-1} , respectively. In seeds from the apical, middle and basal portion, the percentages of seeds without visible damage were 25, 31 and 31%, standard germination 62, 82 and 81%, germination after accelerated ageing test 30, 74 and 80% and electrolyte loss 54, 25 and 23 μScm^{-1} , respectively. The percentages of seed damaged and the reduction of physiological quality were proportional to the impact applied, except for germination rate.

Key words: *Zea mays* L., cob seed strata, seed moisture content.

INTRODUCCIÓN

La resistencia al daño mecánico es una característica de la semilla que debe tomarse en cuenta en el proceso de producción, siembra en campo, beneficio y almacenaje (Desai *et al.*, 1997; Basu, 1994). Usualmente la maquinaria utilizada se ajusta a un régimen de operación para que la semilla sufra el menor daño posible. Por su parte, los fabricantes de equipo lo diseñan con el propósito de que opere de manera eficiente en el consumo de energía y eficaz en lo que respecta a la calidad e integridad física de las semillas (Mohsenin, 1986).

El daño por impacto causa bajo vigor, disminuye la calidad física y sanitaria y reduce la vida de almacén de la semilla (Desai *et al.*, 1997). Se ha reportado que el daño causado por el impacto, depende de varios factores: contenido de humedad, grado de madurez y tamaño y forma de semilla; sin embargo, la influencia de dichos factores sobre la magnitud del daño ha sido parcialmente estudiada. Mesquita y Hanna (1993) señalaron que el daño mecánico se incrementó al disminuir el contenido de humedad en semilla de soya. Bilanski y Lal (1965) observaron que la energía necesaria para fracturar semillas de maíz, trigo y soya se incrementó proporcionalmente al contenido de humedad, en correlación lineal en ciertos casos y no lineal en otros. Al respecto, Mohsenin (1986) y Multon (1981) mencionaron que un incremento en el contenido de agua ligada a la matriz de proteína, almidón y pentosas, ocasiona que las semillas sean menos resistentes a la deformación y más resistentes al quebrado. Sin embargo, King y Riddolls (1960) reportaron

que conforme se incrementó el contenido de humedad durante la cosecha de trigo, se redujo el daño físico visible pero también el porcentaje de germinación, lo cual podría indicar que el daño fisiológico fue superior al daño mecánico observado. George *et al.* (2003) mencionaron que aunque el daño mecánico fue más intenso en las semillas de maíz de mayor tamaño, el porcentaje de germinación de éstas fue mayor. En contraste, Moes y Vyn (1988) reportaron que la semilla de maíz redonda y pequeña fue de menor resistencia al daño mecánico; por su parte, Peterson *et al.* (1995) reportaron que la semilla del estrato basal de mazorca es la de menor resistencia al daño ocasionado por impacto en caída libre. Con base en estos antecedentes, el objetivo de este estudio fue cuantificar el daño causado por impacto y envejecimiento acelerado sobre la calidad física y fisiológica de semilla de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material genético y producción en campo

Se utilizó el híbrido trilineal HS-2 [(CL₁₁ x CL₁₂) x CL₇], proporcionado por el Programa de Semillas del Colegio de Postgraduados. El HS-2 es de grano blanco semidentado, adaptado a condiciones agroecológicas de los Valles Altos de México. La siembra de los progenitores se realizó en el ciclo primavera-verano de 2004 en el campo experimental del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México. Se sembraron 5000 m² en surcos a 50 y 80 cm entre plantas. La siembra del macho se realizó el 27 de abril y la de la hembra el día 7 de mayo. Al momento de la siembra se fertilizó con la fórmula 120-60-00. Después de 25 días de anthesis se cosecharon muestras de cinco mazorcas al azar a intervalos de 8 días para determinar la madurez de semilla mediante la presencia de capa negra y línea de leche de acuerdo con la metodología descrita por Afuakwa y Crookston (1984).

Factores de estudio

Contenido de humedad en semilla. La evaluación de resistencia al impacto se realizó a dos contenidos de humedad en la semilla: 23% (después de la madurez fisiológica), y 10% (después del secado artificial). Una vez aplicados los tratamientos de impacto, la semilla con 23% de humedad se secó a 35 °C hasta alcanzar 10%, de acuerdo al método descrito por la ISTA (2004). Posteriormente se almacenaron durante cuatro meses en una cámara a 75% de HR y 20 °C.

Estrato de ubicación en mazorca. Para diferenciar la semilla en función de forma y tamaño, la mazorca se dividió en tres estratos: apical, medio y basal. Los estratos apical y basal, se conformaron por semillas ubicadas en los primeros 4 cm a partir del extremo correspondiente, y el estrato medio por las semillas centrales.

Energía de impacto. La semilla se colocó sobre una plataforma con el embrión hacia arriba; el impacto se produjo por medio de la caída libre de un cuerpo cilíndrico de acero de 243 g desde 0 (testigo), 6, 8 y 10 cm de altura, con las que se obtuvieron impactos de 0.000, 0.141, 0.188 y 0.235 J, respectivamente.

Variables evaluadas

Prueba de verde rápido. Esta prueba sólo se aplicó a semillas que resultaron completas después del impacto para detectar cualquier daño exterior difícil de percibir a simple vista y se clasificaron en semillas sin tinción y semillas teñidas. Las semillas sin tinción que presentaron grietas internas, es decir, en el endospermo, se clasificaron como semillas agrietadas. Las semillas que presentaron ruptura del pericarpio, y/o pequeñas fracturas del endospermo se clasificaron como cuarteadas. Las semillas quebradas fueron aquellas que presentaron desprendimiento de porciones del endospermo, o completas que presentaron ruptura en el pericarpio y fracturas severas en el endospermo. Las semillas cuarteadas y quebradas no se sometieron a esta prueba.

Prueba de germinación estándar. Para evaluar la calidad fisiológica de semilla se aplicó esta prueba con el método “entre papel” propuesto por la International Seed Testing Association (ISTA, 2004), la cual consistió en colocar las semillas sobre toallas de papel, enrollarlas, hidratarlas y mantenerlas en una cámara de germinación a 25 °C durante 7 días, por último, contar las semillas germinadas que desarrollaron plántulas normales.

Tasa de germinación. Durante la prueba de germinación estándar, cada 24 h se cuantificó el número de semillas en las que se observó emisión de raíz; la tasa de germinación se calculó con la fórmula propuesta por Maguire (1962) y se expresó en porcentaje.

Envejecimiento acelerado. Se utilizó el método propuesto por la Association of Official Seed Analysts (1983), que consiste en colocar las semillas dentro de cajas

herméticas de plástico durante 96 h, a 42 °C y 100% de HR. Posteriormente, la semilla se sometió a la prueba de germinación estándar.

Pérdida de electrolitos. Con la finalidad de estimar en forma indirecta los daños causados por efecto del impacto, se evaluó la pérdida de electrolitos de semilla. La metodología utilizada fue la descrita por Moreno (1996), a la que se le modificó a 75 mL la cantidad de agua utilizada. Las semillas se colocaron en agua desionizada durante 24 h, posteriormente se retiraron y se midió la conductividad eléctrica de la solución y se expresó en μScm^{-1} ; el valor de conductividad eléctrica se expresó por gramo de semilla utilizada.

Diseño del experimento y análisis estadístico

Para analizar el efecto del contenido de humedad de semilla, el estrato de ubicación en mazorca y la energía de impacto, sobre el daño físico, porcentaje de germinación y tasa de germinación, se utilizó un diseño factorial completamente al azar con tres factores de estudio y se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey a un nivel de probabilidad de error $\alpha=0.05$. Se efectuaron tres repeticiones con muestras de 30 semillas. Se realizaron las transformaciones arco seno ($\%$)^{1/2} para homogeneizar las varianzas, de acuerdo con Infante y Zárate (1990).

Para estudiar el efecto del estrato de ubicación de semilla y energía de impacto sobre la germinación y pérdida de electrolitos después del envejecimiento acelerado, se utilizó un diseño factorial completamente al azar con dos factores de estudio y se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey. Se utilizó un diseño experimental similar para estudiar el efecto del contenido de humedad en semilla y la energía de impacto sobre germinación y pérdida de electrolitos. Los datos fueron analizados con la versión 9.0 del Statistical Analysis System (SAS Institute, 1999).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía de impacto sobre el daño físico

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró que la energía de impacto tuvo efectos diferentes en función de contenido de humedad de semilla sobre los porcentajes de semillas quebradas, cuarteadas, teñidas, sin tinción y agrietadas.

También se observó diferencia significativa entre los estratos de ubicación de semilla en los porcentajes anteriores, excepto en el porcentaje de semilla agrietada. Se observaron diferencias significativas por efecto de la energía de impacto en porcentajes de semillas quebradas, cuarteadas, teñidas y sin tinción. Así mismo, se observaron diferencias significativas en los efectos combinados de: contenido de humedad con estrato de ubicación, contenido de humedad con energía de impacto y de estrato de ubicación con energía de impacto (Cuadro 1).

fue 44.6% mayor en semillas con 23% de humedad que con 10%, debido a que las semillas con 23% de humedad tuvieron algún daño en el endospermo (Cuadro 1).

Los resultados anteriores sugieren que el contenido de humedad en semilla de maíz al momento de la cosecha es importante para reducir el daño físico. Por lo tanto, podría ser conveniente efectuarla con alto contenido de humedad (tan alto como el que se presenta al momento de madurez fisiológica). Sin embargo, esta aseveración difiere con lo

Cuadro 1. Cuadrados medios de las variables y efectos principales y combinados de contenido de humedad en semilla, estrato de ubicación en mazorca y energía de impacto, sobre la calidad física de semilla de maíz. Montecillo, Estado de México. 2005.

Fuente de variación	G. L.	Semillas quebradas (%)	Semillas cuarteadas (%)	Semillas teñidas (%)	Semillas sin tinción (%)	Semillas agrietadas ⁱⁱ (%)
H	1	20 691.65 **	2479.18 **	8192.18 **	2707.75 **	28 227.23 **
E	2	1486.99 **	113.00 **	511.55 **	275.40 **	88.34 NS
I	3	12 973.78 **	1820.56 **	3904.74 **	29 537.99**	908.86 **
H*E	2	406.61 **	62.70 NS	66.22 NS	510.62 **	339.81 **
H*I	3	2334.11 **	652.30 **	929.45 **	442.14 **	431.40 **
E*I	6	207.12 **	40.56 NS	72.310 *	41.54 *	478.93 **
H*E*I	6	94.72 **	71.48 **	82.38 **	90.10 **	81.19 *
Error	23	15.98	19.84	1177.19	710.51	1396.66
C. V.		10.70	30.81	26.58	13.11	23.72
Efectos principales						
H (%)						
10		65.46 a	4.17 b	5.09 b	25.28 b	1.85 b
23		18.99 b	16.44 a	30.53 a	34.04 a	46.48 a
DMS 0.05		1.89	2.11	2.34	1.82	2.55
Estrato						
Apical		54.31 a	7.92 b	11.53 b	26.25 b	20.28 a
Medio		35.64 b	10.01 a	22.90 a	31.45 a	25.40 a
Basal		36.74 b	12.98 a	19.00 a	31.28 a	26.83 a
DMS 0.05		2.79	3.11	3.45	2.68	3.76
Impacto (J)						
Testigo		0.00 d	0.00 c	0.00 d	100.00 a	32.22 a
0.141		42.41 c	10.76 b	36.95 a	9.89 b	32.36 a
0.188		57.92 b	17.46 a	19.15 b	5.48 bc	17.66 b
0.235		68.59 a	12.99 b	15.14 c	3.29 c	14.43 b
DMS 0.05		3.54	3.95	4.39	3.41	4.78

*= Significativo $\alpha=0.05$; **= Significativo $\alpha=0.01$; NS= No significativo $\alpha=0.05$; ii= Evaluado de manera independiente; H= Contenido de humedad en semilla; E= Estrato de ubicación en mazorca; I= Energía de impacto. Medias con misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

El porcentaje de semilla sin tinción fue significativamente mayor en semillas impactadas con 23% de contenido de humedad en comparación con las de 10%, lo cual indica que el contenido de humedad favorece la resistencia al impacto (Cuadro 1). Sin embargo, el porcentaje de semillas agrietadas

reportado por Vyn y Moes (1988), quienes reportaron que a menor contenido de humedad en grano de maíz se reduce el número de granos fracturados. Otros autores reportaron que el mayor daño mecánico fue por efecto de cosecha prematura (George *et al.*, 2003). En lo que respecta al

proceso de desgranado un mayor contenido de humedad en semilla, podría reducir el daño mecánico. Es importante tomar en cuenta que a mayor contenido de humedad en las estructuras de unión entre semilla y olote, mayor será la energía necesaria para separarlas (Bosoi *et al.*, 1991). Lo anterior propone un procedimiento diferente para desgrane, que iniciaría con el secado de mazorca hasta minimizar la fuerza de unión de semilla con el olote; posteriormente, se podría humectar la semilla al momento de tratarla contra plagas y enfermedades, de tal manera que el desgrane se podría efectuar con menor consumo de energía y bajo riesgo de daño mecánico. Es importante mencionar que esta técnica no ha sido probada y se desconoce su repercusión en costos de producción.

El mayor daño por impacto se observó en semilla ubicada en el estrato apical de mazorca (Cuadro 1) en comparación con semilla de los estratos medio y basal en los parámetros de: porcentaje de semilla quebrada, cuarteada, teñida y sin tinción. No obstante la diferencia en forma y tamaño de semilla entre estratos medio y basal, no se observó diferencia entre ellos (parámetros no analizados). Estos resultados fueron similares a los reportados por Moes y Vyn (1988), en los que semilla redonda y pequeña fue de menor resistencia a fracturarse; en contraste, los resultados reportados por George *et al.* (2003) señalaron lo contrario. Puesto que en ambos trabajos se utilizaron máquinas desgranadoras, es probable que los resultados contradictorios se debieran a los ajustes en la operación de las mismas. Resultados similares a los observados en este estudio los reportaron Peterson *et al.* (1995), quienes aplicaron el impacto mediante la caída libre de semillas; observaron que las de mayor resistencia fueron las de estrato medio, seguidas por las de estrato apical y finalmente las de basal; es probable que el daño en semillas de estrato apical en comparación con el basal se debió a su menor peso, lo que resultó en una menor energía de impacto.

Por su parte, Bosoi *et al.* (1991), reportaron que semillas del estrato medio de mazorca maduran primero, por lo que pierden humedad antes que las de basal y el apical. En consecuencia, la energía necesaria para desprender las semillas del estrato medio sería menor que para las del ápice y de la base. Esto sugiere el uso de desgranadoras con tambor trillador cónico con alimentación de mazorca por el extremo de menor diámetro donde se desgranarán semillas de estrato medio y/o las débilmente sujetas al olote y en el extremo de mayor diámetro (con mayor velocidad tangencial) se desgranarían semillas más fuertemente unidas al olote.

El porcentaje de semilla quebrada se incrementó proporcionalmente a la energía de impacto, mientras que el porcentaje de semilla sin tinción fue inversamente proporcional (Cuadro 1). Con la energía de impacto de 0.141 J, el porcentaje de semilla sin tinción fue de 9.8% y el porcentaje de semilla completa fue de 47% (suma de semillas teñidas más semillas sin tinción) en comparación con el testigo que en ambos parámetros fue de 100%. El porcentaje de semilla agrietada observado en el testigo fue 32.2% y el promedio de semillas impactadas fue 21.4%, por lo que el estrés por secado y manejo influyó en este parámetro, particularmente en semillas cosechadas con 23% de humedad (Cuadro 1).

En este estudio, el daño físico causado por la menor energía de impacto evaluada (0.141 J) fue superior al reportado por otros investigadores. Peterson *et al.* (1995) no reportaron fracturas en semillas impactadas 10 veces en caída libre desde 10 m de altura (equivalente a 0.032 J aproximadamente). En otro estudio se reportó fractura de semilla (Moes y Vyn, 1988); sin embargo, los porcentajes no fueron tan altos como los observados en este trabajo, lo que indica la conveniencia de estudiar energías de impacto menores a las utilizadas en esta investigación.

Efecto de la energía de impacto en calidad fisiológica

El análisis de varianza para las pruebas de germinación estándar (Cuadro 2) indicó que el contenido de humedad en semilla produjo un efecto altamente significativo sobre el porcentaje de germinación (plántulas normales), mientras que para la tasa de germinación no fue significativo. El estrato de ubicación en mazorca tuvo efectos significativos en porcentaje de germinación y en tasa de germinación, lo cual indica que la resistencia de semilla al daño fisiológico producido por impacto difiere con la ubicación en mazorca. La energía de impacto también produjo efectos significativamente diferentes en porcentaje de germinación y en tasa de germinación.

Se detectó diferencia significativa para el porcentaje de germinación en los efectos combinados de contenido de humedad con el estrato de ubicación y del estrato de ubicación con la energía de impacto. Cabe señalar que el tipo de daño más frecuentemente observado fue la fractura o cuarteadura paralela al eje embrionario en las semillas impactadas (datos no mostrados), que coincide con lo reportado por Moreira *et al.* (1999).

Cuadro 2. Cuadrados medios y efectos principales y combinados del contenido de humedad en semilla, estrato de ubicación en mazorca y energía de impacto sobre el porcentaje de germinación, tasa de germinación, porcentaje de germinación después de envejecimiento acelerado y pérdida de electrolitos. Montecillo, Estado de México. 2005.

Fuente de variación	G. L.	Germinación (%)	Tasa de germinación (%)	EAN (%)	Pérdida de electrolitos C. E. (μScm^{-1})
Cuadrados medios					
H	1	1128.55 **	5.12 NS	---	---
E	2	1051.66 **	135.98 **	4348.70 **	3703.76 **
I	3	4578.00 **	7.88 *	1817.58 **	2604.18 **
H*E	2	131.23 **	14.83 **	---	---
H*I	3	59.91 NS	16.76 **	---	---
E*I	6	260.03 **	13.40 **	451.79 **	321.22 **
H*E*I	6	80.80 **	19.66 **	---	---
Error	23	24.36	2.10	39.63	27.20
C.V. (%)		7.78	8.28	12.20	15.29
Efectos principales					
H (%)					
10		69.44 b	17.22a	---	---
23		80.30a	17.75a	---	---
DMS 0.05		2.33	0.68	---	---
Estrato					
Apical		62.36 b	15.12 c	30.40 b	54.34 a
Medio		81.64 a	17.44 b	74.38 a	22.74 b
Basal		80.61 a	19.88 a	80.14 a	25.24 b
DMS 0.05		3.44	1.01	6.41	5.31
I (J)					
Testigo		98.33 a	17.22 ab	88.52 a	12.94 c
0.141		76.30 b	18.44 a	63.12 b	32.06 b
0.188		62.90 c	16.94 b	44.17 c	37.14 b
0.235		61.94 c	17.34 ab	50.74 c	54.27 a
DMS 0.05		4.37	1.28	8.18	6.78

*= Significativo con $\alpha=0.05$; **= Significativo con $\alpha=0.01$; NS= No significativo con $\alpha=0.05$; EAN= Germinación después del envejecimiento acelerado; H= Contenido de humedad en la semilla; E= Estrato de ubicación en la mazorca; I= Energía de impacto. Medias con misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

El mayor porcentaje de germinación 80.3 se obtuvo en semillas con 23% de humedad, en comparación con 69.4% en las semillas con 10% de humedad (Cuadro 2). Este resultado concuerda con la prueba de verde rápido (Cuadro 1), en la que semilla más resistente al impacto fue la que contenía 23% de humedad. Esto sugiere la conveniencia de cosechar la semilla cuando el contenido de humedad, posterior a madurez fisiológica, es mayor, para mantener su calidad física y fisiológica.

Los resultados reportados por George *et al.* (2003) indican que los menores porcentajes de germinación se obtuvieron cuando la cosecha se efectuó antes de la

madurez fisiológica, (por tanto con mayor contenido de humedad), lo cual probablemente se debió a que los tejidos que imparten la resistencia a daño mecánico no estaban plenamente desarrollados, o bien, la calidad fisiológica de las mismas, particularmente el vigor, fue baja. Moes y Vyn (1988) observaron el mayor daño mecánico en semillas cosechadas con alto contenido de humedad. Este resultado se debió a que la fuerza de enlace entre semilla y olote fue mayor al momento de desgranado como lo indicaron Bosoi *et al.* (1991).

El porcentaje de germinación fue significativamente mayor en los estratos medio y basal, que en el apical, con 81.6,

80.6 y 62.3, respectivamente lo que indica que semillas ubicadas en el estrato apical tuvieron menor resistencia al impacto (Cuadro 2), lo que probablemente se debió a la forma y tamaño de semillas de acuerdo con lo reportado por Batistella *et al.* (2002). También es probable que los porcentajes de germinación observados estuvieran relacionados con la integridad física de semillas, ya que en la prueba de verde rápido (Cuadro 1) semillas de los estratos medio y basal fueron más resistentes al impacto. Sobre este tema, George *et al.* (2003) reportan mayor porcentaje de germinación en semillas de tamaño grande y mediano que en pequeñas, a pesar de haber sido aquellas las más severamente dañadas mecánicamente. En cuanto al efecto de energía de impacto sobre el porcentaje de germinación, se observaron 98.3, 76.3, 62.9 y 61.9 para 0.000, 0.141, 0.188 y 0.235 J, respectivamente (Cuadro 2).

La tasa de germinación de semilla proveniente de estrato basal 80.1%, fue significativamente mayor que la de estratos medio y apical con 74.3 y 30.4%, respectivamente (Cuadro 2), por lo que es probable que el daño físico causado por el impacto haya afectado el proceso de germinación.

La energía de impacto afectó la tasa de germinación: con 0.141 J se observó mayor tasa de germinación, mientras que con la de 0.188 J, la menor (Cuadro 2). Se deduce que 0.141 J fue suficiente energía para dañar la cubierta seminal, lo que permitió una rápida imbibición sin llegar a afectar la germinación. En general, se considera que este parámetro no tuvo la capacidad de discriminar el potencial fisiológico después del daño mecánico inducido, ya que no se observó una proporcionalidad con la energía de impacto.

Después del envejecimiento acelerado, el estrato de ubicación de semilla y la energía de impacto tuvieron efectos significativos en lo individual sobre el porcentaje de germinación y pérdida de electrolitos; en ambos casos se observaron diferencias significativas en efectos combinados (Cuadro 2).

En semilla de estratos medio y basal se observaron mayores porcentajes de germinación y menores valores de pérdida de electrolitos, después del envejecimiento acelerado (EAN) (Cuadro 2). Estos resultados coinciden,

en parte, con los reportados por George *et al.* (2003) quienes observaron que las semillas de mayor tamaño presentaron mayor porcentaje de germinación después de un período de almacenamiento de 14 meses. Lo anterior se podría atribuir más a la calidad fisiológica que a la resistencia mecánica, ya que las semillas de los estratos medio y basal fueron las que mayor daño físico presentaron en la prueba de verde rápido.

En esta investigación, los testigos no impactados de los estratos apical, medio y basal no presentaron diferencia significativa entre sí en cuanto al porcentaje de germinación (datos no mostrados) después del envejecimiento acelerado, los cuales fueron 90, 83 y 82%, respectivamente. En general se observó que semillas de mayor tamaño fueron de mayor vigor (expresado como porcentaje de germinación), lo cual coincide con Moreno *et al.* (1998).

En el testigo sin impactar se obtuvo mayor porcentaje de germinación después del envejecimiento acelerado, así como la menor pérdida de electrolitos. Los indicadores de vigor fueron afectados de manera proporcional al daño físico ocasionado en semillas impactadas (Cuadro 2).

El contenido de humedad de semilla y energía de impacto así como su interacción afectaron significativamente el porcentaje de germinación y pérdida de electrolitos después del envejecimiento acelerado (Cuadro 3). El mayor porcentaje de germinación se obtuvo con 23% de humedad en semilla (Cuadro 3), lo que se atribuye a la resistencia a daño mecánico, como se observó en la prueba de verde rápido (Cuadro 1). En semillas de estrato medio, el porcentaje de germinación no mostró efecto diferencial por los tratamientos de impacto (datos no mostrados). La pérdida de electrolitos aumentó a medida que se incrementó la energía de impacto (Cuadro 3).

No obstante los altos porcentajes de semillas cuarteadas y quebradas observados, los porcentajes de germinación estándar, así como los obtenidos después del envejecimiento acelerado, no se vieron afectados en la misma proporción, lo cual se debió a que, a pesar de que el escutelo se fracturó por efecto del impacto, las semillas tuvieron la capacidad para realizar las actividades metabólicas necesarias para la germinación de plántulas normales, tal como lo mencionaron Moreira *et al.* (1999) y Cicero *et al.* (1998).

Cuadro 3. Cuadrados medios y efectos principales y combinados del contenido de humedad en semilla y energía de impacto sobre el porcentaje de germinación y pérdida de electrolitos después del envejecimiento acelerado. Montecillo, Estado de México, México. 2005.

Fuente de variación	G. L.	EAN (%)	Pérdida de electrolitos C. E. μScm^{-1}
Cuadrados medios			
H	1	2867.95 **	5563.82 **
I	3	993.65 **	2349.09 **
H*I	3	418.20 **	540.83 **
Error	7	60.30	20.28
C. V. (%)		15.73	11.86
Efectos principales			
H (%)			
10%		39.45 b	53.19 a
23%		74.38 a	22.74 b
DMS 0.05		6.72	3.89
I(J)			
Testigo		86.11 a	10.71 d
0.141		48.89 b	37.41 c
0.188		45.43 b	47.10 b
0.235		47.22 b	56.62 a
DMS 0.05		12.82	7.44

**= Significativo con $\alpha=0.01$; EAN= Porcentaje de germinación después de envejecimiento acelerado; CE= Conductividad eléctrica; H= Contenido de humedad en semilla; I= Energía de impacto. Medias con misma letra en sentido vertical son iguales (Tukey, 0.05).

CONCLUSIONES

La semilla de maíz con 23% de contenido de humedad presentó el menor daño físico, mayor porcentaje de germinación (antes y después del envejecimiento acelerado) y menor pérdida de electrolitos.

La semilla del estrato apical fue de menor resistencia al daño por impacto.

En semillas del estrato medio, la pérdida de electrolitos permitió una adecuada evaluación de efecto de las energías de impacto utilizadas en este estudio.

La tasa de germinación no fue un indicador apropiado para evaluar la calidad fisiológica de semilla en este experimento, ya que no se correlacionó con las energías de impacto aplicadas.

LITERATURA CITADA

Afuakwa, J. J. and Crookston, R. K. 1984. Using milk line to visually monitoring grain maturity in maize. *Crop Sci.* 24:687-691.

Association of Official Seed Analysts. 1983. Seed Vigor Testing Handbook. (Contribution, 32), 88 p.

Basu, R. N. 1994. Seed viability. p.10-12. *In*: Basra, A. S. (ed). Seed Quality: Basic mechanisms and agricultural implications. Food Products Press: An imprint of the Haworth Press, Inc. New York, USA.

Batistella, *filho*, F.; Vitto M^oro, F. and De Carvalho, N. M. 2002. Relationship between physical, morphological, and physiological characteristics of seeds developed at different positions of the ear of two maize (*Zea mays* L) hybrids. *Seed Sci. & Technol.* 30:97-106.

Bilanski, W. K. and Lal, R. 1965. The behavior of threshed materials in a vertical wind tunnel. *Transactions of the ASAE.* p. 411- 416.

Bosoi, E. S.; Verniaev, O. V.; Smirnov, I. I. and Sultan-Shakh, E. G. 1991. Theory, construction and calculations of agricultural machines. Volume Two. Jaganmohan A. Translation to English from an original Russian version. India. p. 469-471.

Cicero, S. M.; Van der Heijden, G. W. A. M.; Van der Burg, W. J. and Bino, R. J. 1998. Evaluation of mechanical damage in seeds of maize (*Zea mays* L.) by X-ray and digital imaging. *Seed Sci. & Technol.* 26:603-612.

- Copeland, L. O. and McDonald, M. B. 1985. Principles of seed science and technology. 2nd. Ed. Burgess Publishing Company. Minneapolis Minnesota, USA. 170 p.
- Desai, B. B.; Kotecha, P. M. and Salunkhe, D. K. 1997. Seeds Handbook. Marcel Dekker. New York, USA. p. 475-477, 528-529, 587-588.
- George, D. L.; Gupta, M. L.; Tay, D. and Parwata I. G. M. A. 2003. Influence of planting date, method of handling and seed size on supersweet sweet corn seed quality. *Seed Sci. & Technol.* 31:351-366.
- George, R. A. T. 1999. Vegetable seed production, 2nd. ed. CABI publishing. Cambridge, UK. pp. 8-10.
- Infante, G. S. y Zárate, L. G. P. 1990. Métodos Estadísticos: Un Enfoque Interdisciplinario. Ed. Trillas. México. p: 448-451, 575-577.
- International Seed Testing Association (ISTA). 2004. International rules for seed testing. Ed. 2004. Bassersdorf, CH-Switzerland, 243 p.
- King D. L. and Riddolls A. W. 1960. Damage to wheat seed and pea seed in threshing. *J. Agr. Eng. Res.* 7(2):90.
- Maguire, J. D. 1962. Speed of germination, aid in selection and evaluation of seedling emergence vigor. *Crop Sci.* 2:176-177.
- Mesquita, C. M. and Hanna, M. A. 1993. Soybean threshing mechanics: II Impact. *Amer. Soc. Agr. Eng.* 36:281-284.
- Moes, J. and Vyn, T. J. 1988. Management effects on kernel breakage susceptibility of early maturing corn hybrids. *Agron. J.* 80: 699-704.
- Mohsenin, N. N. 1986. Physical properties of plant and animal materials. Gordon and Breach Science Publishers. 2nd. ed. New York, USA. p. 1-8.
- Moreira-de Carvalho, M. L.; van Aelst, A. C.; van Eck, J. W. and Hoekstra, F. A. 1999. Pre-harvest stress cracks in maize (*Zea mays* L.) kernels as characterized by visual, X-ray and low temperature scanning electron microscopical analysis: effect on kernel quality. *Seed Sci. Res.* 9:227-236.
- Moreno, M. E.; Vázquez-Badillo, M. E.; Rivera, A.; Navarrete, R. and Esquivel-Villagrana, F. 1998. Effect of seed shape and size on germination of corn (*Zea mays* L.) stored under adverse conditions. *Seed Sci. & Technol.* 26:439-448.
- Moreno, M. E. 1996. Análisis físico y biológico de semillas agrícolas. 3a. ed. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. p. 249-251.
- Multon, J. L.; Bizot, H.; Doublier, J. L.; Lefebvre, J. and Abbott, D. C. 1981. Effect of water activity and sorption hysteresis on rheological behavior of wheat kernels, p.179-198. *In: L. B. Rockland and G. F. Stewart (Eds.) Water activity: influences on food quality.* New York: Academic Press.
- Peterson, J. M.; Perdomo, J. A. and Burris, J. S. 1995. Influence of kernel position, mechanical damage and controlled deterioration on estimates of hybrid maize seed quality. *Seed Sci. & Technol.* 23:647-657.
- Salhuana, W. and Smith, S. 1998. Maize breeding and genetic resources. p. 117-119. *In: Agricultural values of plant genetic resources.* Eds. Evenson R. E.; Gollin, D. and Santaniello, V. Cabi Publishing. Wallingford, UK.
- Vyn, T. J. and Moes, J. 1988. Breakage susceptibility of corn kernels in relation to crop management under long growing season condition. *Agron. J.* 80:915-920.