## Nota Técnica

# EFECTO DEL ENVEJECIMIENTO ACELERADO SOBRE LA GERMINACIÓN Y EL VIGOR DE LA SEMILLA DE CHINA SULTANI (Impatiens wallerana) EN ALMÁCIGO¹

Adina Li<sup>2/\*</sup> Jorge Herrera\* Ronny Barboza\*\*

#### ABSTRACT

Effect of accelerated aging upon seed germination and vigor in Impatiens (Impatiens wallerana) in plug test. Impatiens (F1 Hybrids) seeds of Super Elfin White (SEW) and Dazzler Violet (DV) were separated into four and three different groups, respectively, using meshes between 1 and 2 mm. They were then incubated for accelerated aging treatments at 35°C and 100% relative humidity, for different periods (0, 24, 48 and 72 h.). Later, they were stored at 20°C for 5 and 21 days. Finally, a Plug Test was run. Evaluations were made 14 and 21 days after sowing. Both varieties reduced the production of normal seedlings after accelerated aging treatments and after storage. Smaller seeds had a reduced germination. The hybrid SEW was more sensitive to accelerated aging, to differences in seed size and was also more affected by storage conditions than DV. In all treatments, DV showed higher values in germination and lower values in seedling abnormalities than SEW.

# INTRODUCCIÓN

La China (Impatiens wallerana), es una planta herbácea, dicotiledónea, perteneciente a la familia Balsaminaceae y que como planta ornamental es de gran importancia económica a nivel mundial. Costa Rica durante los últimos 40 años se ha convertido en uno de los principales productores de semillas de esta especie, con exportaciones superiores a 1000 kg anuales, que alcanzan un valor superior a U.S. \$2 millones (García et al., 1993).

Debido a lo competitivo del mercado, la calidad de la semilla se convierte en el factor más importante para las empresas, sobretodo si se considera que las labores de siembra y transplante en los países de destino se realizan mecánicamente, con la ayuda de computadoras (ordenadores) que determinan el grado de desarrollo de las plántulas días después de la siembra.

La germinación de un lote de semilla hasta hace algún tiempo se consideraba como una manifestación de la calidad de la semilla, sin embargo, en tiempos recientes se ha llegado a la conclusión de que es más importante el vigor del mismo, sobretodo medido en función del tiempo necesario para que alcance una germinación plena y un desarrollo vigoroso. La calidad fisiológica de las semillas está determinada por una serie de factores, entre los cuales los más importantes son: el genotipo de la planta, las condiciones climáticas durante el desarrollo de la semilla y las labores que se realizan desde la cosecha hasta su utilización, lo

<sup>1/</sup> Recibido para publicación el 25 de julio de 1995.

<sup>2/</sup> Autor para correspondencia.

<sup>\*</sup> Centro para Investigaciones en Granos y Semillas, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. El segundo autor es beneficiario del Programa de Apoyo a Investigadores del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica.

<sup>\*\*</sup> Compañía Linda Vista Ltda., Dulce Nombre, Cartago, Costa Rica.

que incluye: el secamiento, el beneficiado, el transporte v el almacenamiento. Debido a que el vigor es inversamente proporcional al deterioro, la estrategia general para medir el vigor en la semilla se ha dirigido tradicionalmente hacia la evaluación del deterioro (AOSA, 1983). Esta calidad fisiológica es máxima al momento de la madurez fisiológica, momento en que alcanza su máximo peso seco. Según los estudios realizados en China por García et al. (1993) corresponde a un período de cuatro días anterior a la cosecha en las variedades Super Elfin Pink y Super Elfin Twilight. Debido a lo anterior, se puede deducir que los factores ambientales afectan la habilidad de las semillas de emerger en el campo (Tekrony y Egli, 1991). Por ejemplo, la integridad de la cubierta y la presencia de deformaciones, que son ocasionadas por cambios ambientales, pueden tener efecto mayor o menor sobre el desarrollo de la planta, dependiendo de la especie en estudio.

El tamaño de la semilla está directamente relacionado con las condiciones ambientales durante el desarrollo y con su posición en la planta. así las semillas producidas bajo condiciones de estrés hídrico son más pequeñas y menos vigorosas. En especies como la sova se han realizado estudios que demuestran que las semillas producidas en el tercio inferior del dosel, son más pequeñas y poseen menor capacidad (McDonald, 1994), lo que se atribuye a que las semillas pequeñas poseen materiales de reserva limitados, que se agotan rápidamente después de iniciada la germinación (Bewley y Black, 1994). Esto es especialmente crítico cuando se trata de semillas tan pequeñas como la de China, las cuales son más sensibles a cambios ambientales que las especies de mayor tamaño.

El almacenamiento de las semillas bajo condiciones adversas ocasiona el envejecimiento de las mismas, lo que provoca una variedad de síntomas que van desde reducción en la viabilidad o capacidad de germinación (nula en algunas ocasiones), hasta valores cercanos a 100%, pero con un pobre desarrollo de la plántula (Bewley y Black, 1994). Debido a la dificultad de estudiar el efecto del deterioro, por los largos períodos necesarios, se ideó el método de envejecimiento acelerado, en el cual la semilla se coloca bajo condiciones adversas de almacenamiento (35°C y 100% de humedad relativa) (International Seed Testing Association, 1976) por períodos cortos de tiempo. Sin embargo, cabe señalar que el deterioro ocasio-

nado durante el almacenamiento por este tipo de tratamientos, muy probablemente difiera del resultante del almacenamiento a largo plazo, especialmente debido a que el grado de hidratación de las semillas después del envejecimiento natural o acelerado es muy diferente.

Entre los eventos importantes que ocurren durante la germinación y que se ven fuertemente afectados por el grado de deterioro de la semilla, se incluye el reinicio de la respiración y de un sistema de ATP productor de energía, así como el reinicio de la síntesis proteica (Bewley y Black, 1994).

El objetivo de este trabajo fue evaluar a nivel de almácigo y bajo condiciones comerciales normales, el efecto de diferentes períodos de envejecimiento acelerado sobre la semilla de China de diferentes tamaños, pertenecientes a los híbridos comerciales F1 Super Elfin White (SEW) y Dazzler Violet (DV).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Universidad de Costa Rica y de la empresa Linda Vista Ltda., ubicada en Dulce Nombre de Cartago.

Se utilizó semilla de los híbridos comerciales F1 de China Super Elfin White (SEW) y Dazzler Violet (DV). La semilla se cosechó y se procesó siguiendo la metodología comercial de la empresa.

Una vez seca y limpia se procedió a su separación en diferentes tamaños. La variedad SEW se separó en cuatro tamaños (A, B, C y D), mientras que la variedad DV se separó en 3 tamaños (X, Y y Z), utilizando tamices con diámetros comprendidos entre: 1 y 2 mm. La magnitud de las semillas es particular de cada lote, ya que algunos de ellos presentan una mayor uniformidad que otros, aún dentro un mismo híbrido, por lo que se juzgó conveniente no indicar medidas exactas que puedan asociarse con una calidad determinada y con un tamaño específico.

En las instalaciones del CIGRAS, la semilla se sometió a 4 períodos de envejecimiento acelerado, 0, 24, 48 y 72 h a 35°C y 100% de humedad relativa. Luego se almacenó por 5 y 21 días en una incubadora a 20°C. Los tiempos de almacenamiento se seleccionaron con la idea de observar cual sería el comportamiento de la semilla si se

utilizara inmediatamente después de su arribo al lugar de destino o si debiera almacenarse por un corto tiempo antes de su utilización. Para su almacenamiento, la semilla se colocó en bolsitas de tela, las cuales a su vez se introdujeron en bolsas de polietileno de 0,04 mm de espesor.

Una vez realizados los tratamientos, la semilla se trasladó de nuevo a las instalaciones de la compañía Linda Vista, donde se sembró en bandejas plásticas, en una mezcla de musgo de turba (musgo parcialmente descompuesto, principalmente de los géneros Sphagnum, Polytrichum e Hypnum). Una vez sembrada la semilla se colocó en una cámara de germinación (23°C y 90% de humedad relativa) por 4 días. Posteriormente fue colocada en bancas (con un sistema para el control de la temperatura del sustrato de crecimiento) dentro de un invernadero (que no tiene control de temperatura ambiente, por lo que ésta fluctuó entre 17 y 25°C) por 17 días. La humedad se mantuvo en forma de aspersión automática controlada durante los primeros días, después de lo cual se utilizó riego manual diario hasta completar el ensayo.

A los 14 días se evaluó la germinación como el porcentaje de plántulas normales, además se evaluó el de plántulas anormales (cotiledones fusionados, plántulas subdesarrolladas, cotiledones no expandidos, cotiledones corrugados, cotiledones severamente curvados hacia abajo). A los 21 días se evaluó el porcentaje final de germinación como porcentaje de plántulas utilizables (2 hojas verdaderas, una de las hojas puede inclusive ser un tercio más pequeña que la otra) y además el porcentaje de plántulas anormales (plántulas enanas, solamente una hoja verdadera, una hoja verdadera cuyo tamaño es inferior a un tercio del tamaño de la otra, plántulas sin hojas verdaderas o aborto apical).

Los criterios que se siguieron fueron los aplicados en la empresa para la evaluación de sus materiales, los cuales difieren de los señalados por la International Seed Testing Association (ISTA, 1976), por cuanto su mayor interés reside en el vigor de las plántulas. Los datos se analizaron como un diseño irrestricto al azar en un arreglo factorial para cada híbrido. Las unidades experimentales constaron de 100 semillas con 2 repeticiones.

## RESULTADOS

En ambas variedades, cuando se aumentó el tiempo de almacenamiento a 21 días, se observó

una disminución en el número de plántulas normales 14 días después de iniciada la germinación (Figura 1). Aunque la variedad SEW obtuvo valores menores de germinación, la disminución fue menos drástica que en DV cuando se almacenó por un período mayor. Lo mismo ocurrió cuando se realizó la evaluación a los 21 días. Asimismo, el número de plántulas anormales fue significativamente mayor cuando la semilla se almacenó por 21 días (Figura 1) en ambas variedades. No hubo diferencias significativas debidas al período de almacenamiento en la variable aborto apical. Sin embargo, sí las hubo en el porcentaje de plántulas con otras anormalidades, las cuales aumentaron en ambas variedades con un período mayor de almacenamiento (Figura 1).

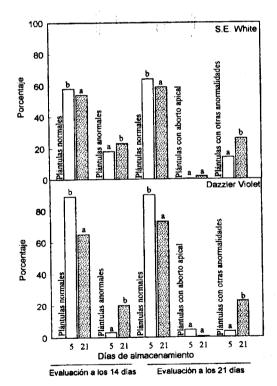
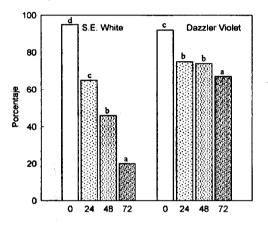


Fig. 1. Efecto de los días de almacenamiento sobre los porcentajes de plántulas normales y anormales, 14 y 21 días después de iniciada la prueba.

En la Figura 2 se observa el efecto de los períodos de envejecimiento en ambas variedades sobre el porcentaje de plántulas normales. En SEW se observa una drástica reducción en el número de plántulas normales conforme se aumenta el tiempo de exposición a condiciones adversas.

Cada uno de los tiempos de exposición fue significativamente diferente al anterior, obteniéndose tan sólo 20% de plántulas normales después de 72 h de envejecimiento acelerado, mientras que el testigo tuvo 95%. En DV la reducción no fue tan marcada ya que los tratamientos de 24 y 48 h no fueron significativamente diferentes entre sí, aunque sí lo fueron con respecto a los de 0 y 72 h, que obtuvieron los valores mayores (90%) y menores (65%) respectivamente.



Horas de envejecimiento acelerado

Fig. 2. Efecto de las horas de envejecimiento sobre el porcentaje de plántulas normales 21 días después de iniciada la prueba, en dos variedades de china.

El tamaño de la semilla tuvo un efecto marcado sobre la producción de plántulas normales (Figura 3). En SEW se observa un incremento muy marcado de la germinación conforme aumenta el tamaño de la semilla. Los valores menores (38%) se obtuvieron con semilla que pasó a través del tamiz A, mientras que los mayores (78%) se obtuvieron con semilla separada con un tamiz D. Todos los valores fueron significativamente diferentes entre sí (P=0,01). En DV aunque sólo se evaluaron tres tamaños de semilla se observó una tendencia similar, aunque el valor correspondiente a la semilla de tamaño intermedio (tamiz Y) no fue significativamente diferente del valor (70%) de la semilla más pequeña (X) o del valor (84%) de la semilla más grande (Z).

Los valores de plántulas anormales debidos a los tratamientos siguieron una tendencia inversa a los observados en el número de plántulas normales. Por esta razón se decidió no presentar estos datos, aunque se puede señalar que en ambos híbridos los menores valores de plántulas anormales se obtuvieron con los menores tiempos de exposición al envejecimiento acelerado y con la semilla de mayor tamaño.

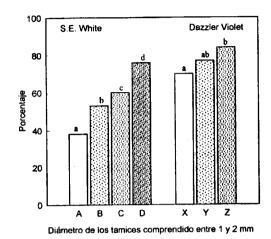


Fig. 3. Efecto del tamaño de la semilla sobre el porcentaje de plántulas normales 21 días después de iniciada la prueba, en en dos variedades de china.

En lo que respecta al porcentaje de plántulas con aborto apical no se detectaron diferencias significativas. En SEW se encontraron diferencias significativas en el número de plántulas anormales conforme aumentaron los tiempos de envejecimiento (Figura 4). Por el contrario, no hubo diferencias debidas al tamaño de la semilla. El tiempo de enveiecimiento acelerado o el tamaño de la semilla no tuvieron ningún efecto sobre el porcentaje de plántulas anormales en DV. En DV se encontró una fuerte relación (P=0,01) entre el tiempo de almacenamiento y el tiempo de envejecimiento acelerado a que se sometió la semilla (Figura 5), mientras que en SEW no hubo respuesta de alguno de los factores a variaciones en el otro, con lo cual se llega a la conclusión de que en esta segunda variedad el tiempo de envejecimiento acelerado fue igualmente detrimental cualquiera que fuera el tiempo de almacenamiento posterior.

Como se puede observar (Figura 5) la reducción debida al tiempo de deterioro artificial fue muy fuerte y prácticamente lineal, al disminuir el porcentaje de plántulas normales de valores superiores a 90% con el tratamiento testigo, hasta valores de 20% con el tratamiento de 72 h. Por su parte en DV se encontró que la semilla con sólo 5 días de almacenamiento no redujo su capacidad de

producir plántulas normales pues los valores finales siempre rondaron 80%, mientras que cuando la semilla se almacenó por 21 días el comportamiento fue muy similar al de SEW, aunque los valores finales fueron mayores.

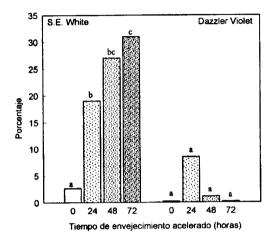


Fig. 4. Efecto del tiempo de envejecimiento acelerado sobre el porcentaje de plántulas con otras anormalidades foliares 21 días después de iniciada la prueba, en dos variedades de china.

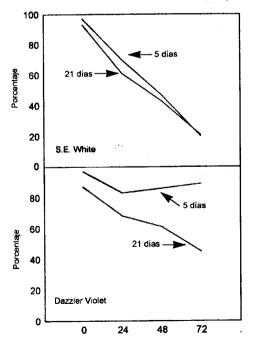


Fig. 5. Efecto de la interacción entre las horas de envejecimiento acelerado en china y el período de almacenamiento sobre el porcentaje de plántulas normales en dos variedades de china.

Resultados significativos (P=0,01) se obtuvieron en el análisis del porcentaje de plántulas anormales en ambas variedades debidas a la interacción entre el tamaño de la semilla y las horas de envejecimiento acelerado (Figura 6). El efecto del enveiecimiento acelerado fue más marcado en SEW, llegando con 48 h de envejecimiento acelerado y el tamaño más pequeño de semilla (A) hasta 50% de plántulas anormales, mientras que en la variedad DV con envejecimiento acelerado por 72 h y con la semilla más pequeña (X) el porcentaje de plántulas con anormalidades fue inferior a 30%. Debido a que en SEW después de 72 h de envejecimiento se obtuvo 0% de germinación, se eliminó este tratamiento del análisis.

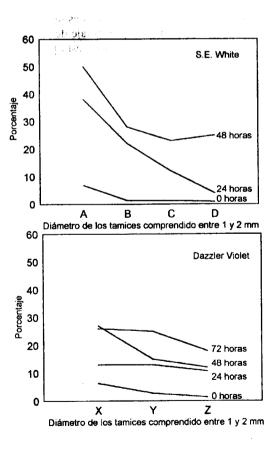


Fig. 6. Interacción entre el tamaño de las semillas de china y las horas de envejecimiento acelerado sobre el porcentaje de plántulas con lesiones foliares, en dos variedades de china.

# DISCUSIÓN

### Efecto del tamaño de la semilla

El tamaño de la semilla, en muchas especies, es indicativo de su calidad fisiológica, en estos casos las de mayor peso y tamaño presentan mayor germinación y vigor (Popinigis, 1985). Herrera (1987) y Gelmond (1972) encontraron que semillas de mayor gravedad específica o mayor tamaño en arroz y algodón, respectivamente produjeron plántulas de mayor tamaño y un porcentaje mayor de germinación. Estas características se deben al contenido genético de la planta y a las características climáticas bajo las cuales se desarrolló el cultivo.

La uniformidad en el tamaño de la semilla se traduce en una ventaja para el productor, por cuanto el desarrollo de las plántulas es más uniforme, como se observó en el porcentaje de plántulas normales (Figura 3). Sin embargo, esto podría estar sometido a efectos ambientales que invalidarán esta afirmación, ya que como menciona Egli (1994) los estados hídricos de la semilla durante el desarrollo son críticos. Se ha comprobado también que la posición del fruto en la planta (posición nodal o posición en la jerarquía del nudo) tienen influencia sobre el suplemento de asimilados al fruto y por lo tanto, en la tasa de crecimiento de la semilla individual (McDonald, 1994). El hecho de que el tamaño de la semilla se haya relacionado estrechamente con el porcentaje de plántulas normales demostró, como este tipo de relaciones se cumplen en China, aunque no se ha llegado a determinar si el tamaño diferencial de las semillas se debe a su posición en la planta o en el fruto (Hov v Gamble, 1987).

El efecto del tamaño de la semilla quedó ampliamente demostrado en el estudio de la interacción del tamaño y las horas de envejecimiento acelerado con respecto al porcentaje de plántulas anormales (Figura 6), según lo cual las características genéticas de las plantas hacen que éstas respondan en forma diferente, observándose una susceptibilidad mayor a estos tratamientos en SEW.

Por otra parte, también queda claro que las semillas de mayor tamaño soportan mejor el tratamiento de alta temperatura y alta humedad relativa y que, por lo tanto, bajo condiciones no óptimas tendrían mayor posibilidad de sobrevivencia y de establecimiento de la planta en el campo (Tekrony et al.,1989).

## Efecto del período de almacenamiento

Aunque ambas variedades respondieron en forma similar al período de almacenamiento en la producción de plántulas normales, resulta obvio que las características genéticas de ambas tienen un gran efecto sobre la magnitud de esta respuesta (Figura 1). Los valores obtenidos con SEW fueron siempre menores que los de DV, sin embargo, la reducción en el número de plántulas normales fue más fuerte en la segunda. Estos resultados indican que la semilla de China una vez envejecida se torna muy susceptible al deterioro durante el almacenamiento. En este caso los períodos de almacenamiento fueron cortos, pensando en que el tiempo transcurrido entre el arribo de la semilla al país de destino y el tiempo hasta ser usada no fuera muy prolongado, sin embargo, la magnitud de la reducción en calidad puede ser muy alta. Lo anterior resulta evidente en la Figura 5, en la que se observa como interactuó el tiempo de envejecimiento con el período de almacenamiento sobre la capacidad de mantener la viabilidad. La variedad DV resultó más resistente a condiciones adversas cuando se almacenó por un tiempo corto, sin embargo, cuando se almacenó por 21 días el comportamiento fue similar al de SEW.

Aunque, como se comentó anteriormente, existen diferencias en los daños ocasionados por envejecimiento natural y los debidos al envejecimiento acelerado, uno de los daños más aparentes y que ocasionan la pérdida de viabilidad es el deterioro de las membranas celulares. Se debe considerar que el almacenamiento fue por corto tiempo (5 y 21 días) y que se realizó bajo condiciones no óptimas, ya que la temperatura empleada fue de 20°C de temperatura continua pues el objetivo era simular un período sin control al que podría estar sometida una semilla por un corto tiempo. A esta temperatura el deterioro es considerablemente más rápido que a temperaturas menores (Bewley y Black, 1994). En forma general se ha señalado que las temperaturas entre 0 y 5°C resultan ideales para la conservación de este tipo de semillas.

# Efecto del período de envejecimiento acelerado

El período de envejecimiento tuvo un efecto muy marcado sobre el porcentaje de plántulas normales y anormales (Figuras 2 y 4). De nuevo, en todos los casos el componente genético fue muy importante ya que la variedad SEW fue más severamente afectada que la DV.

Esta reducción en la capacidad de las plantas para producir plántulas normales podría deberse a que los patrones respiratorios se han deteriorado pero aún están viables (por lo menos parcialmente), dado que las mitocondrias toman entre 10 y 40% más oxígeno que las semillas frescas, pero la cantidad de ATP producido por volumen de oxígeno consumido es aproximadamente la mitad con respecto a semillas vigorosas, por lo que se ha correlacionado positivamente en muchas especies el contenido de ATP en semillas embebidas y el vigor (Bewley y Black, 1994).

Un efecto adicional del deterioro es la deficiencia en la síntesis de proteínas. Debido a que la síntesis de proteínas involucra diversos componentes dentro de la célula, entre ellos: ribosomas, ARN mensajero, factores de iniciación y de elongación, la reducción en la actividad o el contenido de cualquiera de ellos resulta en la declinación de la actividad de traducción. Las semillas no fueron almacenadas bajo condiciones óptimas (20°C), por lo que es normal que se produzcan síntomas como reducción en la viabilidad o germinabilidad y un desarrollo anormal de las plántulas. Sin embargo, se puede generalizar diciendo que cualquier combinación de tiempo, temperatura y contenido de humedad lleva a la pérdida de viabilidad de las semillas almacenadas y que ocasionará daños genéticos en las supervivientes. Entre los factores involucrados en el mantenimiento del control del metabolismo dentro de la célula, está la separación espacial de los componentes metabólicos y el correcto alineamiento de los complejos de síntesis (Bewley y Black, 1994). No sólo están las enzimas de un paso metabólico ligadas con las organelas, sino muy frecuentemente están asociadas o ligadas a las estructuras de las membranas celulares, por lo que la alteración de las membranas ocasionadas por el envejecimiento, puedan llevar a diferentes cambios metabólicos, todos los cuales contribuyen en diferente medida al deterioro y a la pérdida de vigor de la semilla.

### RESUMEN

Semillas de China (Impatiens wallerana) de los híbridos F1 Super Elfin White y Dazzler Violet se separaron en diferentes tamaños con tamices cuyos diámetros estuvieron comprendidos entre 1 y 2 mm. Posteriormente se colocaron en

un incubador a 35°C y 100% de humedad relativa como tratamiento de envejecimiento acelerado por períodos de 0, 24, 48 y 72 h. Finalmente se almacenaron a 20°C por 5 v 21 días. Transcurrido este tiempo se sembraron en bandejas con una mezcla de turba de musgo. Las evaluaciones se realizaron a los 14 y 21 días de la siembra. En ambas variedades se redujo el número de plántulas normales después de los tratamientos de envejecimiento acelerado y de almacenamiento. Asimismo, las semillas de menor tamaño tuvieron valores de germinación menores. El híbrido SEW fue más sensible al enveiecimiento acelerado, a las diferencias en tamaño y al almacenamiento que DV. En todas las evaluaciones DV obtuvo valores mayores de germinación y menores en las variables que determinaron anormalidades.

#### LITERATURA CITADA

- ASSOCIATION OF OFFICIAL SEED ANALYSIS. 1983. Seed vigor testing handbook.Contribution No. 3 to The handbook of Seed Testing. 88 p.
- BEWLEY, J.D.; BLACK, M. 1994. Seeds: Physiology of development and germination. 2 ed., Plenum Press, New York. 445 p.
- EGLI, D.B. 1994. Seed Growth and Development. In Physiology and Determination of Crop Yield. Ed. by K.J. Boote; J.M. Bennett; T.R. Sinclair; G.M. Paulsen. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin. p.127-148.
- GARCIA, V.; HERRERA, J.; ALIZAGA, R. 1993. Efecto de la madurez de la semilla sobre la germinación y el vigor en semillas de China (*Impatiens balsamina* L.). Agronomía Costarricense 17 (1): 81-87.
- GELMOND, H. 1972. Relationship between seed size and seedling vigour in cotton (Gosypium hirsutum). Proceedings of the International Seed Testing Association. 37 (3): 797-801.
- HERRERA, J. 1987. Efecto de la gravedad específica de la semilla sobre el desarrollo y la producción de arroz cv. CR1113. Agronomía Costarricense 11(2): 453-461.
- HOY, D.J.; GAMBLE, E.E. 1987. Field performance of soybean with seeds of different size and weight. Crop Science 27: 121-126.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION. 1976.
  Reglas internacionales para ensayos de semillas. España, Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero.
  148 p.

- McDONALD, M.B. 1994. Seed germination and seedling establisment. In Physiology and Determination of Crop Yield. Ed. by K.J. Boote; J.M. Bennett; T.R. Sinclair; G.M. Paulsen. ASA, CSSA, SSSA. Madison, Wisconsin. p.37-60.
- POPINIGIS, F. 1985. Fisiología de sementes. 2 ed. Brasilia, Editora Gráfica e Fotolito. 289p.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B. 1991. Relationship of seed vigor to crop yield: A review. Crop Science 31: 816-822.
- TEKRONY, D.M.; EGLI, D.B.; WICKHAM, D.A. 1989. Effect of corn seed vigor on no-tillage field performance: II. Plant growth and gain yield. Crop Science 29: 1528-1531.