

## Empleo de la función Weibull para evaluar la emergencia de las plántulas de *Albizia lebbbeck* (L.) Benth

### *Use of the Weibull function to evaluate the emergence of Albizia lebbbeck (L.) Benth seedlings*

Marlen Navarro<sup>1</sup>, G. Febles<sup>2</sup>, Verena Torres<sup>2</sup>, A.R. Mesa<sup>1</sup> y O. Jay<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos",  
Ministerio de Educación Superior

Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba

E-mail: marlen.navarro@indio.atenas.inf.cu

<sup>2</sup>Instituto de Ciencia Animal, Mayabeque, Cuba

<sup>3</sup>Centro Universitario de Guantánamo, Cuba

#### RESUMEN

Con el objetivo de conocer el vigor de las semillas de *Albizia lebbbeck* mediante la evaluación de la emergencia de plántulas, a través de la función Weibull modificada, se realizó la siembra en tres condiciones ambientales y en diferentes tiempos de almacenamiento de la semilla. El diseño fue completamente aleatorizado, con arreglo factorial. Se realizó análisis de varianza para los parámetros  $M$  (emergencia acumulada máxima),  $k$  (tasa de emergencia) y  $Z$  (retraso para el inicio de la emergencia) de la función Weibull modificada. A partir de los seis meses de iniciado el almacenamiento (44,1 %) se observó la pérdida brusca del porcentaje de  $M$  en el vivero (A) y ligeras variaciones en la cabina (C), en comparación con A y B (sombreador). El ámbito de dispersión del parámetro  $k$  osciló entre 0,4-2,6; 0,29-1,9 y 0,5-1,4 % emergencia  $d^{-1}$  para las evaluaciones realizadas en A, B y C, respectivamente. Del análisis de  $Z$  se interpretó que el tiempo para el inicio de la emergencia, sin distinción del ambiente de siembra, estuvo enmarcado entre los 3,0 y 7,3 días posteriores a la siembra. En el vivero a pleno sol, en la evaluación a 6 mdia (meses de iniciado el almacenamiento), se obtuvieron los mejores resultados de los parámetros biológicos de la ecuación de Weibull, lo cual permitió un análisis global que indicó un grado de vigor alto en las semillas de *A. lebbbeck*, en comparación con las restantes evaluaciones.

Palabras clave: *Albizia lebbbeck*, almacenamiento, emergencia

#### ABSTRACT

In order to know the vigor of *Albizia lebbbeck* seeds through the evaluation of seedling emergence, by means of the modified Weibull function, planting was performed under three environmental conditions and at different seed storage times. The design was completely randomized, with factorial arrangement. Variance analysis was conducted for parameters  $M$  (maximum cumulative emergence),  $k$  (emergence rate) and  $Z$  (delay for emergence onset) of the modified Weibull function. From the six months after the beginning of storage (44,1 %) the sudden loss of  $M$  percentage in the nursery (A) and slight variations in the chamber (C) were observed, as compared with A and B (crop house). The dispersal range of parameter  $k$  oscillated between 0,4-2,6; 0,29-1,9 and 0,5-1,4 % emergence  $d^{-1}$  for the evaluations made in A, B and C, respectively. From the analysis of  $Z$  it was interpreted that the time for the onset of emergence, regardless of the seeding environment, was framed between 3,0 and 7,3 days after planting. In the nursery under full sunlight, in the evaluation at 6 mos (months of storage), the best results of the biological parameters of the Weibull equation were obtained, which allowed a global analysis that indicated a high vigor degree in the *A. lebbbeck* seeds, as compared with the other evaluations.

Key words: *Albizia lebbbeck*, storage, emergence

## INTRODUCCIÓN

La emergencia de plántulas se relaciona, principalmente, con el tiempo y la velocidad de germinación de las semillas, lo que a su vez está condicionado por la dormancia y la temperatura del sustrato, sin dejar de mencionar la disponibilidad de agua y la elección de la fecha de siembra (Gardarin, Dürr y Colbach, 2011).

De acuerdo con Navarro, Febles y Torres (2012), la estimación del vigor –en su concepto integrado y dinámico– constituye la interacción de las propiedades bióticas y abióticas que influyen en las semillas y que determinan el nivel de actividad y el comportamiento de estas en el tiempo, tales como: las expresiones de la viabilidad, la dormancia, la germinación y la emergencia. Por ello, para predecir la emergencia de las plántulas en el campo se debe considerar el vigor de la semilla como parte esencial de la calidad.

La función de Weibull (Weibull, 1951) fue propuesta por Brown y Mayer (1988) al analizar un conjunto de funciones no lineales, lineales ajustadas y logísticas, como un modelo de procesamiento de datos para comparaciones del vigor basadas en la frecuencia de germinación acumulada. Anteriormente, Scott, Jones y Williams (1984) concluyeron que los parámetros contenidos en ella definían parcialmente las principales características del proceso germinativo y de la emergencia. A partir del estudio realizado por Brown y Mayer (1988), en el ámbito semillero se le comenzó a designar como Weibull modificada. Las propiedades y los métodos de estimación para los parámetros que componen la función han sido investigados por varios autores (Aghababaei, Lai y Alamatsaz, 2010).

Esta función no lineal se utiliza, con regularidad, para describir la dinámica de la germinación a partir del efecto (en este indicador y en la emergencia de plántulas) de: a) las temperaturas, b) los períodos de estratificación, c) los tratamientos pregerminativos, d) las características seminales, e) las diferentes especies, cultivares e híbridos, de manera optativa a través del análisis de sus parámetros (Rink, Dell, Switzer y Bonner, 1979; Tanaka, 1994; Huang y Yang, 1995; Hernández y Paoloni, 1998; Cerabolini *et al.*, 2004).

Por otra parte, en una revisión de la literatura Gardarin *et al.* (2011) detectaron que los tres parámetros de Weibull se han evaluado en 25 especies de arvenses con características contrastantes en las semillas.

El objetivo del presente trabajo fue conocer el vigor de las semillas mediante la evaluación de la emergencia de plántulas de *Albizia lebeck*, a través de la función Weibull modificada, cuando la siembra se realizó en tres condiciones ambientales y a diferentes tiempos de almacenamiento de la semilla.

## MATERIALES Y MÉTODOS

En el mes de marzo, durante tres años consecutivos, se colectaron semillas de *A. lebeck* en una plantación de las áreas de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes “Indio Hatuey”. Se registraron algunas variables climáticas desde el momento en que las semillas fueron colocadas en el almacén hasta el final de la etapa de almacenamiento (tabla 1); dicho período fue de 12 meses en los tres años de colecta.

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial (3 x 8), representado por

Tabla 1. Correspondencia entre las evaluaciones, el período del año y las variables climáticas.

Evaluación (mdia)	Época del año	T máxima (°C)	T mínima (°C)	T del suelo (°C)	HR máxima (%)	HR mínima (%)	Precipitación acumulada (mm)
0	marzo	30,62	14,59	32,82	95,57	49,00	62,20
2	mayo	34,80	19,99	34,51	95,81	56,43	205,80
4	julio	33,54	21,82	35,81	96,33	57,48	114,50
5	agosto	60,06	22,07	31,30	96,95	63,43	163,10
6	septiembre	32,59	21,50	33,35	97,19	63,71	79,80
7	octubre	29,85	19,39	33,60	96,62	61,95	49,70
9	diciembre	26,55	13,75	26,97	95,71	55,62	10,00
11	febrero	30,12	16,16	31,25	97,00	46,14	3,30

T: temperatura, HR: humedad relativa

los factores ambiente de siembra (3) y tiempo de almacenamiento (8).

En cada evaluación las semillas de un mismo lote se dividieron en tres porciones (previa homogenización de las submuestras), con la finalidad de sembrarlas en diferentes ambientes: vivero experimental (A), con 100 % de exposición al sol; vivero en umbráculo (B), con malla que ofrecía un 40 % de sombreado; y cabina de germinación (C), en condiciones controladas de luz, temperatura y humedad.

La frecuencia de evaluación (tiempo de almacenamiento) fue de 0, 2, 4, 5, 6, 7, 9 y 11 meses de iniciado el almacenamiento (mdia), y el riego se aplicó a saturación.

Para las siembras en A y B se utilizaron bolsas con un sustrato compuesto por una mezcla de suelo Ferralítico Rojo y estiércol ovino totalmente descompuesto y seco, en partes iguales (1:1).

### Función Weibull modificada

$$F(t)=M \{1-\exp [t-Z]^c\}$$

Donde:

- M*: valor máximo de la emergencia acumulada (%).
- k*: valor estimado de la tasa de emergencia (% emergencia d<sup>-1</sup>).
- Z*: retraso de la emergencia (días).
- t*: tiempo de duración de la prueba.
- c*: determina la forma de la curva.

Los valores de *M*, *k* y *Z* se obtuvieron a partir de los datos registrados durante los 21 días que duró la prueba de emergencia de las plántulas.

Se realizó análisis de varianza para *M*, *k* y *Z*, según el modelo de clasificación simple con arreglo factorial (3 x 8). Los datos se transformaron según Arcsen  $\sqrt{0} + 0,375$ . Se utilizó la dócima de comparación múltiple de Duncan (1955) para un nivel de significación de  $P < 0,05$ . El paquete estadístico empleado fue InfoStat versión 1.0 (Rienzo *et al.*, 2001).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la fig. 1 se muestra la interacción altamente significativa ( $P < 0,001$ ) entre los factores ambiente de siembra y tiempo de almacenamiento, que se encontró en la respuesta biológica de la emergencia acumulada máxima (parámetro *M*).

El valor más alto de *M* fue 44,1 % y se alcanzó en el ambiente A, (vivero a pleno sol), cuando se sembraron semillas con 6 mdia. Este difirió del resto, excepto en las evaluaciones a los 7 mdia (40,1 %) en B (ambiente sombreador) y a los 4 (41,8 %) y 5 mdia (37,8 %), ambas registradas en A. Esta última no presentó diferencias significativas respecto a las siembras realizadas en el vivero a los 0, 2 y 7 mdia, ni a los 9 y 5 mdia en el sombreador y en la cabina de germinación, respectivamente.

También se puede apreciar que los valores más altos de *M* se registraron en A de 0 a 6 mdia, mientras que desde los 7 y hasta los 9 mdia correspondieron a B. Al final del estudio (11 mdia) la siembra en C mostró el mayor valor para *M*, aunque sin diferir de los otros dos.

Se presentaron dos situaciones que merecen una atención especial. La primera es la pérdida brusca del porcentaje de *M* que se observó en A, a partir de los 6 mdia (44,1 %); ello pudo estar

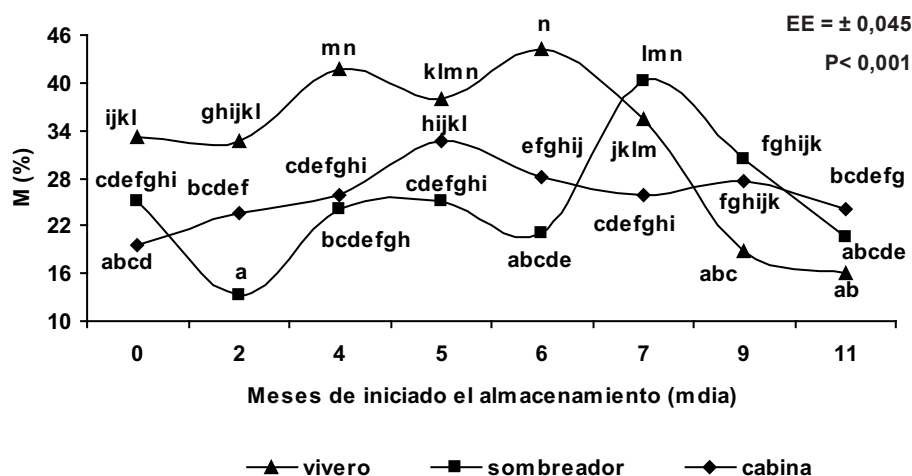


Fig. 1. Emergencia acumulada máxima (*M*) para los ambientes de siembra en cada tiempo de almacenamiento.

relacionado con el tiempo de almacenamiento, que provocó diferencias significativas a partir de aquí en relación con 7 (35,5 %), 9 (18,9 %) y 11 mdia (16,0 %). Las condiciones climáticas pudieron haber influido, ya que la evaluación a los 6 mdia y las siguientes coincidieron con los meses en que los indicadores del clima variaron respecto al periodo posterior a los 6 mdia (octubre-febrero). La segunda situación está relacionada con las ligeras variaciones del porcentaje de emergencia acumulada que se presentaron en C, en comparación con A y B, ya que *M* osciló entre 19,5 y 32,7 %, ambos registrados a los 0 y 5 mdia, respectivamente.

Este comportamiento puede indicar que las condiciones ambientales imperantes en el vivero a pleno sol (A) pudieran estar relacionadas con el proceso germinativo y, por ende, con la emergencia de las plántulas. Además Bewley y Black (1982) plantearon que, en la naturaleza, las fluctuaciones térmicas diarias (típicas de climas tropicales, subtropicales y mediterráneos) provocan el debilitamiento progresivo de las cubiertas duras impermeables, inducen la germinación y promueven en un tiempo limitado la mayor probabilidad de favorecer la emergencia.

Al respecto, Fairbrother (1991) sostuvo que las fluctuaciones térmicas en condiciones naturales producen la expansión y contracción de los tejidos de la cubierta seminal, lo cual provoca fracturas que favorecen la entrada del agua necesaria para la germinación.

Es posible que la incapacidad que mostraron las simientes en C para expresar el máximo potencial

de emergencia de la especie y, a su vez, atenuar o cancelar el estado dormante, se deba a la presencia de condiciones estandarizadas y más estables en el tiempo, pues se conoce que las semillas presentan mecanismos enzimáticos reguladores de la germinación (Nonagaki, 2006) que se disparan solo cuando ocurren cambios térmicos en el ambiente que las rodea (Johnston, Olivares, Henríquez y Fernández, 1997). Estas variaciones diarias de la temperatura no solo les permiten reconocer la mejor época para la germinación y la emergencia, sino también detectar la profundidad a que se encuentran y realizar ambos procesos de manera exitosa (Baskin y Baskin, 1998).

Se debe recordar que en la cabina (C) existían condiciones controladas (luz, temperatura y humedad), lo cual también se relaciona con el hecho de que las fluctuaciones del porcentaje de emergencia en este ambiente de siembra fueran discretas en comparación con el comportamiento en A y B.

Tales deducciones reafirman que la relación que existe entre el estado dormante y su eliminación bajo determinadas condiciones ambientales constituye, además, una respuesta más perceptible al ambiente. Esto permite la germinación, la emergencia y, por consiguiente, el establecimiento de la nueva planta solo cuando las condiciones son propicias para la especie (Bewley y Black, 1994; Khurana y Singh, 2001).

Por otra parte el parámetro *k*, el cual se corresponde con la velocidad o tasa de emergencia, presentó interacción significativa ( $P < 0,001$ ) para las evaluaciones realizadas (fig. 2). El valor más alto

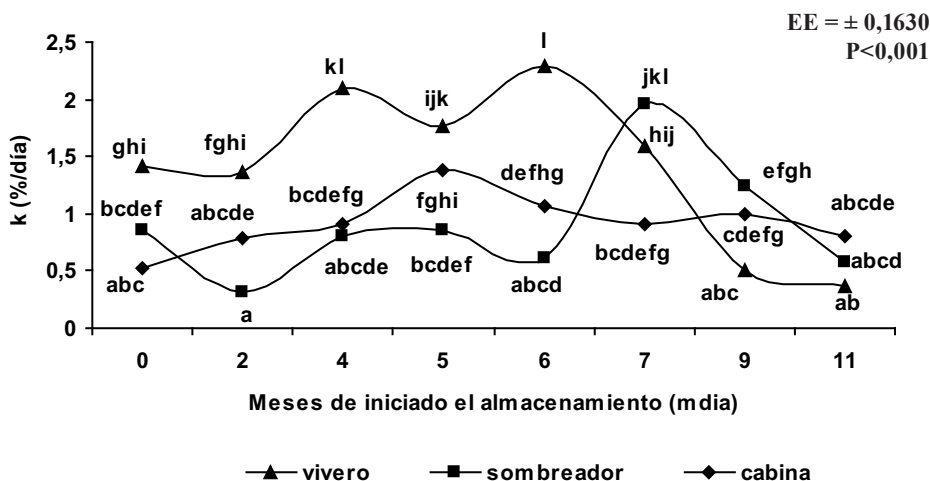


Fig. 2. Tasa de emergencia (*k*) para los ambientes de siembra en cada tiempo de almacenamiento.

(2,3 % emergencia d<sup>-1</sup>) se registró a los 6 mdia en A, sin diferencias significativas en relación con las evaluaciones a los 4 mdia (2,1 % emergencia d<sup>-1</sup>) en A y a los 7 mdia (1,9 % emergencia d<sup>-1</sup>) en B. Ambos valores no difirieron de las siembras a los 5 mdia en A (1,8 % emergencia d<sup>-1</sup>).

La tasa de emergencia mostró un ámbito de dispersión que osciló entre 0,4-2,6; 0,29-1,9 y 0,5-1,4 % emergencia d<sup>-1</sup> para las evaluaciones realizadas en el vivero (A), el sombreador (B) y la cabina (C), respectivamente.

Al analizar en conjunto el comportamiento de *M* y *k*, se puede apreciar que no solo se obtuvieron los mayores valores de emergencia acumulada en el vivero a pleno sol durante el intervalo 0-6 mdia, sino también que la emergencia de las plántulas fue más rápida, lo que obviamente se manifestó en una mayor uniformidad de esta.

El retraso de las semillas en la emergencia, representado por el valor *Z* (fig. 3), tuvo interacción significativa ( $P < 0,001$ ). En este parámetro los valores más bajos expresaron el mejor comportamiento, pues a medida que disminuyó *Z* se redujo el tiempo requerido para que emergieran las plántulas y, obviamente, la emergencia temprana siempre es ventajosa para el éxito del establecimiento de una plantación.

Del análisis de las curvas representadas por *Z* se interpreta que la emergencia de plántulas comenzó más tempranamente (3 días) cuando las semillas se sembraron a los 2 mdia en A, a pesar de que este valor no difirió estadísticamente de lo registrado en todas las evaluaciones, excepto en las

siembras en B a los 2, 9 y 11 mdia (14,3; 10,5 y 8,3 días, respectivamente), así como a los 11 mdia (7,7 días) en C. Se aprecia entonces que el tiempo para el inicio de la emergencia, sin distinción del ambiente de siembra, estuvo enmarcado entre los 3,0 y 7,3 días posteriores a la siembra, lo cual permite afirmar que todas las siembras realizadas en A se consideraron dentro del intervalo de tiempo mencionado.

El peor valor de *Z* (14,3 días) se obtuvo a los 2 mdia en B, seguido por el alcanzado a los 10,5 días, también en B, pero a los 9 mdia. Este comportamiento no se corresponde con el de otras especies con germinación epigea, semillas ortodoxas y representantes de la subfamilia *Mimosaceae*. No obstante, se acerca al de *Prosopis tamarugo*, leguminosa arbórea que tardó entre 5 y 10 días para iniciar la germinación (CATIE, 2000) sin previa aplicación de tratamientos pregerminativos.

Al realizar un análisis integrador –teniendo en cuenta los resultados de las figs. 1, 2 y 3 (descritos en párrafos anteriores)– y en correspondencia con Czabator (1962), quien demostró que la tasa de germinación (velocidad germinativa) se relaciona positivamente con la rápida emergencia en el campo y con el desarrollo de las plántulas, se puede considerar que aunque no se apreció un comportamiento categóricamente definido, el vivero a pleno sol es el ambiente de siembra donde mejor se expresa el vigor, por lo que se obtiene una emergencia más evidente y temprana.

Por otro lado, todo parece indicar que las condiciones de la cabina no son las más propicias para

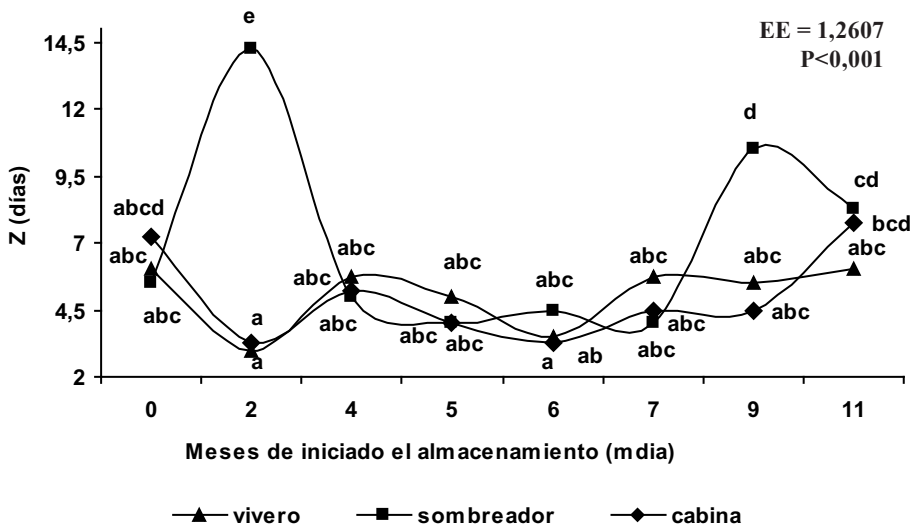


Fig. 3. Retraso para el inicio de la emergencia (*Z*) para los ambientes de siembra en cada tiempo de almacenamiento.

una mejor y más real expresión del vigor. En este sentido, es oportuno destacar que dentro de las regulaciones internacionales del ISTA (1999) y la AOSA (1992) no aparecieron las especificaciones en *A. lebeck* para la prueba en condiciones controladas, ni en otras especies arbóreas del trópico y de las zonas áridas. Las condiciones de la cabina en este experimento se adaptaron de acuerdo con lo establecido para otros árboles leguminosos.

No se debe dejar de mencionar el conjunto de interacciones que se encontraron a lo largo del experimento, cuyas explicaciones biológicas son, en ocasiones, complejas y difíciles de interpretar. Además, fueron ocasionadas por las relaciones que se crearon entre las condiciones de siembra (consideradas factores externos) y los tiempos de almacenamiento (valorados como factores internos).

Lo anterior coincide con lo informado por Marcos Filho (2011), quien afirmó que la influencia del potencial fisiológico que se concentra en el establecimiento del cultivo y en el desarrollo inicial de las plantas es una razón suficiente para justificar la elección de lotes de alto vigor. La preferencia por la utilización frecuente de alguna de las pruebas de vigor en los programas de control de la calidad debe recaer en métodos accesibles a los analistas, que permitan la obtención relativamente rápida de resultados asociados a la emergencia de plántulas en el campo.

En cuanto a la función matemática, Barabadi (2013) consideró que los gráficos de probabilidad de Weibull ofrecen la base para el análisis de confiabilidad. Asimismo, Manso, Pardos, Keyes y Calama (2012), al estudiar los patrones de regeneración natural en rodales manejados de *Pinus pinea* L., concluyeron que el modelo de Weibull mostró el mejor ajuste para predecir el patrón de dispersión de las semillas, lo que permitió modificar las prácticas de silvicultura en la región norte de España. Otros resultados muestran la utilidad de dicho modelo para los estudios en el banco de semillas del suelo, además de su idoneidad para describir distribuciones de tamaño y número de semillas (Casco, Dias y Dias, 2008).

## CONCLUSIONES

A través del empleo de la función de Weibull se evaluó el comportamiento de la emergencia de las plántulas de *A. lebeck*. Además se establecieron las bases para la estimación del vigor de las simientes mediante el análisis integrador de los tres

parámetros de la función modificada. El análisis global de los parámetros biológicos, evaluados en tres condiciones de siembra y diferentes tiempos de almacenamiento de las semillas, indicó un grado de vigor alto cuando las siembras se realizaron en el vivero a pleno sol a los 6 mdia. Ello significa que las semillas en este tiempo no solo germinan más rápido, sino que tienen mayor emergencia, lo cual resulta ventajoso para el establecimiento de las plántulas de albizia en las condiciones de campo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aghababaei, M.; Lai, C.D. & Alamatsaz, M. 2010. A discrete inverse Weibull distribution and estimation of its parameters. *Statistical Methodology*. 7:121.
- AOSA. 1992. Rules for testing seeds. *Journal of Seed Technology*. 6:1.
- Barabadi, A. 2013. Reliability model selection and validation using Weibull probability plot-A case study. *Electric Power Systems Research*. 101:96.
- Baskin, C.C. & Baskin, J.M. 1998. Seeds: Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press. San Diego. 666 p.
- Bewley, J.D. & Black, M. 1982. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol. II. Viability, dormancy and environmental control. Springer-Verlag. Berlin. 375 p.
- Bewley, J.D. & Black, M. 1994. Seeds. Physiology of development and germination. 2<sup>nd</sup> ed. Plenum Press. New York-London. 445 p.
- Brown, R.F. & Mayer, D.G. 1988. Representing cumulative germination. 2. The use of the Weibull function and other empirically derived curves. *Ann. Bot.* 61:127.
- Casco, H.; Dias, A.S. & Dias, L.S. 2008. Modeling size-number distributions of seeds for use in soil bank studies. *J. Integr. Plant Biol.* 50 (5):531.
- CATIE. 2000. Manejo de semillas de 100 especies forestales de América Latina. Vol. 1. Serie Técnica. Manual Técnico No. 41. CATIE-PROSEFOR-DFSC. Turrialba, Costa Rica. 204 p.
- Cerabolini, B. *et al.* 2004. Seed germination and conservation of endangered species from the Italian Alps: *Physoplexis comosa* and *Primula glaucescens*. *Biological Conservation*. 117 (3):351.
- Czabator, F.J. 1962. Germination value: An index combining speed and completeness of pine seed germination. *Forest Science*. 8:386.
- Duncan, D.B. 1955. Multiple ranges and multiple F. Test. *Biometrics*. 11:1.
- Gardarin, A.; Dürr, C. & Colbach, N. 2011. Prediction of germination rates of weed

- species: relationships between germination speed parameters and species traits. *Ecological Modelling*. 222 (3):626.
- Fairbrother, T.E. 1991. Effect of fluctuating temperatures and humidity on the softening rate of hard seed of subterranean clover *Trifolium subterraneum* L. *Seed Sci. Technol.* 19 (1):93.
- Hernández, L.F. & Paoloni, P.J. 1998. Germinación y emergencia de cuatro híbridos de girasol (*Helianthus annuus* L.) con diferente contenido lipídico y en relación con la temperatura. *Invest. Agr.: Prod. Prot. Veg.* 13 (3):345.
- Huang, C.H. & Yang, C.M. 1995. Use of Weibull function to quantify temperature effect on soybean germination. *Chinese Agronomy Journal*. 5:25.
- ISTA. 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol.* 27. Supplement. 333 p.
- Johnston, M.; Olivares, A.; Henríquez, C. & Fernández, G. 1997. Factores abióticos en la germinación de terófitas de interés forrajero. *Phyton*. 60:63.
- Khurana, E. & Singh, J.S. 2001. Ecology of tree seed and seedlings: implications for tropical forest conservation and restoration. *Curr. Sci.* 80 (6):748.
- Manso, R.; Pardos, M.; Keyes, C.R. & Calama, R. 2012. Modelling the spatio-temporal pattern of primary dispersal in stone pine (*Pinus pinea* L.) stands in the Northern Plateau (Spain). *Ecological Modelling*. 226 (10):11.
- Marcos Filho, J. 2011. Testes de vigor: dimensão e perspectivas. *Seed News*. XV (1). [http://www.seednews.inf.br/html/site/content/reportagem\\_capa/index.php?edicao=44](http://www.seednews.inf.br/html/site/content/reportagem_capa/index.php?edicao=44) [16/05/13].
- Navarro, Marlen; Febles, G. & Torres, Verena. 2012. Bases conceptuales para la estimación del vigor de las semillas a través de indicadores del crecimiento y el desarrollo inicial. *Pastos y Forrajes*. 35:233.
- Nonagaki, H. 2006. Seed germination - The biochemical and molecular mechanisms. *Breeding Science*. 56:93.
- Rienzo, J.A. et al. 2001. InfoStat versión 1. Software estadístico. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Rink, G.; Dell, T.R.; Switzer, G. & Bonner, F.T. 1979. Use of the Weibull function to quantify sweetgum germination data. *Silvae Genetica*. 28:1.
- Scott, S.T.; Jones, R.A. & Williams, W.A. 1984. Review of data analysis methods for seed germination. *Crop Science*. 24:1192.
- Tanaka, Y. 1984. Assuring seed quality for seedling production: cone collection and seed processing, testing, storage, and stratification. In: *Forest Nursery Manual: Production of Bareroot Seedlings*. (Eds. Mary L. Duryea and T.D. Landis). Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers. Corvallis, Oregon. p. 27.
- Weibull, W. 1951. A statistical distribution functions of wide applicability. *J. Appl. Mech.* 18:293.

Recibido el 12 de diciembre del 2011

Aceptado el 6 de febrero del 2013