

## TRATAMIENTOS ROBUSTECEDORES DE SEMILLAS PARA MEJORAR LA EMERGENCIA Y EL CRECIMIENTO DE *Trichospermum mexicanum*, ÁRBOL TROPICAL PIONERO

Jorge A. Sánchez<sup>1/</sup>\*, Bárbara C. Muñoz\*, Luis Hernández\*,  
Laura Montejó\*, Avelino G. Suárez\*, Yamir Torres-Arias\*

**Palabras clave:** Análisis de crecimiento, especie forestal pionera, semillas, robustecimiento, hidratación-deshidratación, choque térmico.

**Keywords:** Growth analysis, tropical pioneer species, seeds, hardening hydration-dehydration, heat shocks.

Recibido: 30/08/05

Aceptado: 26/01/06

### RESUMEN

Se estudió la emergencia y el crecimiento de plantas de *Trichospermum mexicanum* en condiciones de vivero y de campo y cuyas semillas fueron sometidas a tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación y choque térmico (semillas robustecidas). Todos los tratamientos robustecedores fueron adecuados para incrementar la emergencia y el crecimiento de las plantas con relación al testigo; alcanzándose los mejores resultados con la hidratación parcial en agua, hasta 2 h antes del inicio de la germinación visible, en combinación con un choque térmico a 40°C durante una 1 h. El crecimiento de las plántulas se afectó significativamente cuando la siembra se realizó a plena exposición solar en condiciones de vivero, independientemente del tratamiento pregerminativo aplicado. En cambio, la aclimatización de las plántulas en condición de sombra parcial, previo a su exposición en insolación total, resultó un procedimiento favorable para aumentar el crecimiento de la especie en condiciones de vivero y de campo. También, la combinación de los tratamientos robustecedores incrementó la floración y producción de

### ABSTRACT

**Seed hardening treatments to improve the emergence and growth of *Trichospermum mexicanum*, a tropical pioneer tree.** Emergence and growth of *Trichospermum mexicanum* under nursery and field conditions, with previous exposition of their seeds to hydration-dehydration and heat shock treatments (seed hardening), were studied. All the hardening treatments proved adequate for increasing the seedling emergence and plant growth, in relation to control treatment. A partial hydration in water, up to 2 h before the onset of visible germination, in combination with a heat shock at 40°C for 1 h, achieved the best results. Seedling growth was significantly affected when sowing was carried out under full solar exposition under nursery conditions, irrespective of applied pregerminative treatment. On the other hand, seedling acclimatization under partial shade condition, previous to full solar exposition, was in favor of the species growth. Combination of hardening treatments increased flowering and seed production as well. An improvement of the growth of the plant under field conditions, as a result of treatments

1/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: jasanchez@ecología.cu

\* Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA). La Habana, Cuba.

semillas. La efectividad de la combinación de los tratamientos robustecedores para mejorar el crecimiento de las plantas en condiciones de campo fue demostrado en esta contribución.

combination, has been demonstrated in this contribution.

## INTRODUCCIÓN

*Trichospermum mexicanum*, es un árbol de distribución Neotropical de la familia Tiliaceae. En Cuba habita en el occidente del país y alcanza hasta 15 m de altura (Rodríguez 2000). Se conoce vulgarmente como “Majagüilla macho”, “Majagüa macho” y “Guasimilla” y se considera por su estrategia sucesional como una especie pionera tardía, típica de la vegetación secundaria de sitios húmedos (Herrera-Peraza *et al.* 1997). Su fruto es una cápsula con semillas ciliadas que son dispersadas por el aire, con un rango de temperatura óptima de germinación de 25-35°C (Muñoz *et al.* 2001). Fernández *et al.* (1999) además, señalan que la madera y la corteza de este árbol se emplea en la confección de barras y cordeles.

Las plantas arbóreas pioneras (*i.e.* plantas forestales nodrizas) tienen como función fundamental invadir los claros o zonas descubiertas, preparando las condiciones ambientales para la implantación del ecosistema forestal y la sucesión vegetal (Whitmore 1989). Para ello, las semillas de dichas especies tienen mecanismos adaptativos que les permiten reconocer las condiciones ambientales idóneas para la germinación y el establecimiento en ambientes abiertos y semiabiertos (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia 1994). Sin embargo, se conoce que la temperatura del suelo, la calidad de la luz, la profundidad de las capas de hojarasca y la irregularidad de las lluvias pueden determinar un comportamiento diferencial en la regeneración de las especies forestales pioneras (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia 1994, Dalling 1995, Sánchez *et al.* 2003).

Un camino fisiológico conocido para incrementar la germinación y el establecimiento de las plantas, bajo situaciones ecológicas adversas (*e.g.* calor, sequía y salinidad), es la aplicación de los

tratamientos pregerminativos de hidratación-des-hidratación a las semillas, creados por Henckel (1964). Estos procedimientos también se conocen en la terminología científica como robustecedores de semillas o “seed hardening”, y consisten fundamentalmente en la inmersión de las semillas en agua durante cierto tiempo con deshidratación previa de la siembra. Esto permite que una gran proporción de las mismas alcancen rápidamente el nivel de humedad y estado metabólico deseado, como consecuencia de la activación de numerosos procesos bioquímicos-fisiológicos relacionados con la germinación, la tolerancia al estrés ambiental y la autoreparación enzimática de las membranas celulares (Henckel 1982, Sánchez *et al.* 2001a, Andoh y Kobata 2002).

Otros investigadores proponen métodos de robustecimiento que consisten en someter las plántulas a altas temperaturas (Medina y Cardemil 1993, Young *et al.* 2001). Se plantea que una breve exposición a temperaturas supraóptimas (*i.e.* choque térmico) inducen la tolerancia al calor en una variedad de plantas (Vierling 1991). Este tratamiento también puede inducir tolerancia a la sequía, pero el efecto que podría tener sobre las plantas la combinación de los tratamientos de choque térmico con los pregerminativos de hidratación-parcial ha sido poco estudiado (Sánchez *et al.* 1998, Sánchez *et al.* 2001b, 2003).

Por otra parte, en Cuba existe una base teórico-práctica de la ecología de los bosques húmedos y secos de la Reserva de la Biosfera “Sierra del Rosario” (Herrera-Peraza *et al.* 1997). A partir de este estudio se desarrolló una novedosa ecotecnología, llamada “Reforestación Sucesional”. La misma tiene en cuenta la dinámica de las condiciones ecológicas en la que se establecen los árboles y la aplicación de biofertilizantes en condiciones de vivero. Propone la siembra de *Cecropia schreberiana*, *Trichospermum mexicanum*

y *Ochroma lagopus*, u otras especies nodrizas similares, que con un crecimiento más acelerado y características funcionales únicas, mejoran la calidad del terreno y protegen a las especies de estadios más avanzados de la sucesión (Herrera-Peraza *et al.* 1997).

A pesar de esto, en el orden práctico, existe poco conocimiento sobre 2 factores vitales para la reproducción de las especies arbóreas pioneras en este paquete ecotecnológico: 1) los mecanismos ecofisiológicos de germinación en condiciones de estrés; y 2) los tratamientos pregerminativos óptimos para incrementar su emergencia y crecimiento en condiciones de vivero y de campo. Aspectos que deben considerarse en los planes de reforestación y rehabilitación de paisajes.

El propósito del presente trabajo fue conocer los efectos que promueve la combinación de tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación con los de choque térmico sobre la emergencia y el crecimiento de *T. mexicanum* en condiciones de vivero y campo. Esta especie se consideró endémica del Archipiélago cubano, [(*Trichospermum grewiiifolium* (A. Rich) Kosterm.)], hasta su reciente cambio de identidad (Rodríguez 2000). Además, aspectos relacionados con la ecofisiología de la germinación y aplicación de tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación han sido abordados por Sánchez *et al.* (1998, 2003, 2004), Muñoz y Sánchez (2000) y Sánchez y Muñoz (2004).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sitio de colecta y material vegetal

Semillas de *Trichospermum mexicanum* (DC.) Baill fueron colectadas de frutos maduros, en junio de 1998, en más de 20 árboles que crecen en la Reserva de la Biosfera “Sierra del Rosario”, Cuba. La zona de colecta está cubierta por un bosque siempreverde mesófilo y se encuentra en el área conocida como El Salón (82° 57' O, 22° 49' N). Tiene una elevación aproximada de 540 msnm y un régimen de lluvia de 2014 mm; con una temperatura media anual del aire de 24,4°C

(Herrera-Peraza *et al.* 1997). Los suelos del sitio de colecta son del tipo Cambisol Mólico calcárico (Driessen *et al.* 2001). Las semillas tienen una masa fresca promedio de 0,0026 g, y presentaron una viabilidad inicial de 98%, determinada mediante la prueba de Tetrazolium (ISTA 1999). Los ensayos de laboratorio, de vivero, y campo se realizaron inmediatamente después de la colecta.

### Tratamientos de hidratación-deshidratación y choque térmico

Las semillas fueron sometidas a las mejores combinaciones de los tratamientos robustecedores obtenidos por Sánchez *et al.* (2003), para incrementar la germinación y el establecimiento de esta especie bajo condiciones controladas de estrés. Los tratamientos utilizados fueron: semillas no tratadas o control (T1); semillas hidratadas a temperatura alterna de 25-35°C (8 h a 35±1°C - 12 h a 25±1°C, con transición entre las mismas de 4 h) durante 120 h, hasta 2 h antes del inicio de la germinación visible (Sánchez *et al.* 2003), y deshidratadas previo a su siembra (T2); y semillas sometidas al tratamiento pregerminativo T2 más un choque térmico a 40°C durante 1 h (T3). El tratamiento térmico se realizó durante la fase de hidratación en agua y el momento de aplicación del mismo fue 3 h antes del inicio de la germinación, para así detener el proceso de imbibición 2 h antes de la primera señal visible de la germinación. La deshidratación se realizó a 25±2°C (45% de humedad relativa) durante 48 h hasta alcanzar aproximadamente el contenido inicial de humedad de las semillas (7-9% con base en el peso fresco).

### Pruebas de vivero y campo

Los experimentos se desarrollaron en el Instituto de Ecología y Sistemática (CITMA) en el Municipio Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba (82° 21' O, 23° 01'N), a una altura de 71 msnm. El clima es subtropical húmedo con una época de lluvia que se extiende de mayo a octubre y un periodo seco de noviembre a abril

(Academia de Ciencias de Cuba 1989). El suelo es un Cambisol crómico ócrico (Driessen *et al.* 2001). Las características químicas del suelo son: pH (H<sub>2</sub>O): 7,10; materia orgánica: 2,8% según Walkey-Bray; P asimilable: 6,2 mg g<sup>-1</sup> según Machiguin, y el K cambiante: 0,29 cmol kg<sup>-1</sup> por fotometría de llama. El N total fue 0,22% por micro Kjeldahl (Norma Ramal 1988). Su textura es franco arcillosa.

Los datos climatológicos durante los periodos evaluados se presentan en el cuadro 1, y fueron aportados por la estación meteorológica más próxima al sitio de estudio (Instituto de Investigaciones Fundamentales de Agricultura Tropical "Alejandro de Humboldt" en Santiago de Las Vegas, La Habana,

Cuba). También en las áreas experimentales se determinó en días alternos (con 3 mediciones diarias) la temperatura del suelo a 2 cm de profundidad, la temperatura del aire y la humedad relativa. Los valores de estas variables bajo plena exposición solar no difieren considerablemente de los reportados por la estación meteorológica, por consiguiente estos últimos serán los empleados en la discusión de los resultados.

En las evaluaciones se excluyeron aquellas plantas que se encontraban en los bordes de los experimentos para evitar el efecto marginal. No se aplicó fertilizantes ni plaguicidas, y como única enmienda orgánica se utilizó la hojarasca propia de la planta.

Cuadro 1. Medias mensuales de las temperaturas (media, máxima y mínima), precipitaciones y la humedad relativa durante la estancia de las plantas en vivero y campo. Estación meteorológica del Instituto de Investigaciones Fundamentales en Agricultura Tropical, "Alejandro de Humboldt", Santiago de Las Vegas, La Habana, Cuba.

Meses	Temperatura del aire (°C)			Precipitación (mm)	Humedad relativa (%)
	Media	Máxima	Mínima		
Siembra en vivero (1998-1999)					
Setiembre	27,0	31,5	23,8	337,9	83
Octubre	25,0	30,6	22,4	273,5	84
Noviembre	24,1	29,1	20,1	30,3	82
Diciembre	22,7	28,3	18,3	21,4	80
Enero	21,8	26,8	17,3	113,5	81
Febrero	20,7	26,9	15,2	52,7	71
Marzo	21,7	28,3	16,0	11,2	75
Siembra en campo (1999-2000)					
Abril	24,9	31,3	19,7	113,9	74
Mayo	25,9	32,2	20,4	276,6	76
Junio	26,9	31,6	22,1	245,9	84
Julio	26,7	32,7	22,5	268,4	83
Agosto	26,6	32,5	22,9	269,2	85
Setiembre	25,8	31,3	22,4	224,5	87
Octubre	25,1	29,3	21,0	379,5	85
Noviembre	22,7	26,7	19,4	11,5	83
Diciembre	22,3	27,1	17,3	13,1	77
Enero	20,6	26,7	16,0	2,9	77
Febrero	21,1	27,2	15,9	15,6	77
Marzo	23,1	29,3	17,3	43,0	74
Abril	24,2	29,7	19,3	100,6	74

## Emergencia y vigor de las plántulas en vivero

El experimento se realizó en los primeros días de setiembre de 1998. Las semillas se sembraron en suelo contenido en bolsas de polietileno negro de 25,8 cm de ancho por 31,5 cm de altura y 5 dm<sup>3</sup> de capacidad, a una profundidad de 2 cm. En cada bolsa se colocaron 5 semillas y la siembra se realizó a cielo abierto. El diseño utilizado fue el de bloques al azar con 4 repeticiones de 300 bolsas cada una. El suelo se regó diariamente y el conteo de la emergencia se realizó diariamente durante 15 días una vez iniciado el proceso. Se determinó el porcentaje de emergencia final de las plántulas y la velocidad de emergencia, esta última variable, consistió en el tiempo en que se alcanzó el 30% de emergencia en la muestra. Se estableció además, el día de inicio de la emergencia y la duración del proceso.

A los 25 días después de la siembra (*i.e.* 15 días de iniciada la emergencia) se practicó el raleo de las plántulas, dejando 1 individuo por bolsa. Se tomó al azar 16 plántulas por tratamiento para determinar las variables de vigor: masa seca (g) de las raíces, del tallo y de las demás partes aéreas (hojas y ramas), determinadas mediante el secado de las muestras durante 48 h en una estufa a 70°C. Además, se determinó el área foliar (cm<sup>2</sup>); que se estableció por la relación área/peso y se utilizó para calcular el índice de área foliar (LAI) (Watson 1952) por la siguiente fórmula:

$$\text{LAI} = \text{Área foliar (cm}^2\text{)} / \text{Área de siembra (cm}^2\text{)}$$

La distribución de la biomasa en sus componentes aéreos y subterráneos se calculó por la relación masa seca de la raíz/parte aérea total (g g<sup>-1</sup>).

## Crecimiento de las plantas en vivero

Luego del raleo las plántulas fueron divididas en 2 grupos: el primero continuó en las condiciones descritas en las pruebas de emergencia, es decir, a plena exposición solar; y el segundo se protegió con sombra de *Sabal parviflora* var. *olivitoxmis* a una altura de 1,30 m, el que fue

retirado paulatinamente cuando las plantas cumplieron 60 días de colocadas en dicha condición. A este tratamiento se le llamó “sombra parcial” (aproximadamente 30% de la radiación fotosintéticamente activa). Las condiciones de siembra siguieron un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones de 144 bolsas cada una.

A partir de los 30 días de estar las plántulas en ambas condiciones de iluminación y con una periodicidad mensual, se tomaron al azar 8 bolsas por tratamiento para evaluar el crecimiento de las plantas hasta los 180 días de su estancia en condiciones de vivero. Se determinó las variables descritas en las pruebas de emergencia de las plántulas, también la altura total de la planta (cm) y la tasa de crecimiento relativo de la biomasa total (RGR, g g<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>). Esta última variable se calculó según la fórmula propuesta por Blackman (1919):

$$\text{RGR} = \ln W_2 - \ln W_1 / t_2 - t_1$$

donde: ln = logaritmo neperiano; W<sub>1</sub> = biomasa a un tiempo inicial; W<sub>2</sub> = biomasa a un tiempo final; t<sub>1</sub> = tiempo inicial; y t<sub>2</sub> = tiempo final.

Este índice brinda una medida de la producción de materia seca y se estimó para aquellas plantas de 60 y 180 días de estancia en vivero (tiempo final de la condición de sombra y de permanencia en vivero, respectivamente). Como biomasa a un tiempo inicial se tomó la producción de materia seca total de las plántulas de 15 días de emergidas.

## Crecimiento de las plantas en campo

La prueba de establecimiento de las plantas en campo se realizó en la primera semana de abril de 1999. El sitio de plantación es de topografía plana y el suelo está sustentando sobre roca caliza.

Las plantas aptas para sembrar fueron seleccionadas de aquellas que se desarrollaron en la condición de sombra parcial y teniendo en cuenta su altura (entre 15 y 30 cm), un buen desarrollo foliar y vigorosidad. El método de siembra fue el de plantas en bolsas a 20 cm de profundidad, en tresbolillos y con un marco de plantación

de 1m x 1,5m. Se empleó un diseño de bloques al azar con 4 repeticiones y 2 tratamientos pregerminativos (T1 y T3). Cada repetición contó con 36 plantas y el área ocupada fue 32,5 m de largo por 15,3 m de ancho (0,05 ha). El riego se realizó diariamente durante la primera semana y disminuyó paulatinamente en los siguientes días, hasta el comienzo de las primeras lluvias en el área de estudio (12 de abril de 1999).

El área efectiva donde se realizó las mediciones fue de 0,04 ha y estas se llevaron a cabo mensualmente desde el inicio de la plantación hasta transcurrido 1 año (abril del 2000). Las variables de crecimiento medidas fueron: altura total (cm), diámetro en la base del tallo (cm) y diámetro a 1,30 m sobre el nivel del suelo (cm), esta última se comenzó a determinar a los 6 meses de realizada la plantación. Se evaluó igualmente, la supervivencia de las plantas a 1 mes del trasplante y al final del experimento se escogieron al azar 24 plantas de cada tratamiento, a las que se les cuantificó la biomasa seca (g) del tallo, ramas, hojas y subterránea; la biomasa subterránea se dividió en raíz principal, raíces secundarias con un grosor  $\geq 6,45$  mm y raíces secundarias con un grosor  $< 6,45$  mm. Con la biomasa seca total de la planta, se estimó la tasa de crecimiento relativo de las plantas al cabo de 1 año de permanencia en el campo; como biomasa a un tiempo inicial se utilizó la producción de materia seca a los 15 días de emergidas las plántulas en cada tratamiento.

En marzo, mayo y junio del 2000 se evaluó el número de plantas florecidas y la producción de frutos y semillas.

### Análisis estadístico

Se calculó la media y el error estándar de cada variable de emergencia y crecimiento estudiada. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y la homogeneidad de las varianzas a través de la prueba de Bartlett. Las variables de emergencia y de vigor de las plántulas se procesaron por análisis de varianza (ANOVA) de clasificación doble. Se aplicó análisis de componentes principales (ACP) a los datos obtenidos del experimento

de vivero (1-6 meses), para determinar las correlaciones que se establecieron entre las variables de crecimiento, su contribución al ensayo y el agrupamiento de las plantas (individuos), según los tratamientos pregerminativos aplicados y las condiciones de iluminación del sustrato. El ACP se realizó a partir de una matriz de correlación y el significado de las variables se determinó según el círculo de correlación interno propuesto por Fariñas (1996). En este último análisis se utilizó los valores individuales de cada muestra o réplica por tratamiento. Las variables más activas obtenidas del ensayo anterior (ACP) se procesaron mediante ANOVA de clasificación doble con arreglo factorial de los tratamientos. También, se calculó las funciones matemáticas que describen el comportamiento de las variables de crecimiento con base en su tiempo de estancia en vivero o campo. Por último, los datos de biomasa obtenidos de las plantas sembradas en condiciones de campo se analizaron mediante la prueba "t" student.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Emergencia y vigor de las plántulas en vivero

Todos los tratamientos pregerminativos aplicados resultaron adecuados para incrementar y acelerar la emergencia de las plántulas de *T. mexicanum* con relación al control (T1) (Cuadro 2). El tratamiento de hidratación parcial en agua en combinación con el choque térmico a 40°C durante 1 h (T3) resultó el más adecuado para incrementar el porcentaje de emergencia final. Sin embargo, los resultados obtenidos con el tratamiento de hidratación parcial en agua hasta 2 h antes del inicio de la germinación visible (T2), también fueron significativamente ( $p \leq 0,05$ ) superiores al control. Los procedimientos robustecedores (T2 y T3) además, fueron adecuados para acelerar y sincronizar la emergencia de las plántulas, obteniéndose los mejores efectos con el tratamiento T3. Con este último procedimiento se alcanzó más de un 85% de emergencia final en aproximadamente 3 días. Mientras que con el tratamiento control sólo se obtuvo un 35% de emergencia al cabo de 10 días (Cuadro 2).



Cuadro 2. Efecto de los tratamientos pregerminativos sobre la emergencia de plántulas de *T. mexicanum*. E.E (error estándar de las medias).

Tratamientos	Emergencia final (%)	Velocidad de emergencia (días)	Inicio de la emergencia (días)	Duración de la emergencia (días)
T1	35,0 c <sup>1</sup>	17,1 a	15,0 a	10,0 a
T2	59,0 b	12,3 b	10,0 b	5,2 b
T3	88,6 a	9,4 c	8,3 b	3,2 a
E.E (±)	14,0	1,2	2,0	2,0

T1: semillas no tratadas o control. T2: un ciclo de hidratación-deshidratación. T3: un ciclo de hidratación-deshidratación más choque térmico.

<sup>1</sup> Medias con letras distintas, por columnas difieren significativamente ( $p \leq 0,05$ ) mediante la prueba de Duncan.

Durante la emergencia de las plántulas, la temperatura promedio del suelo a 2 cm de profundidad fue de 26,3°C con una máxima y mínima de 34,2°C y 23,2°C, respectivamente. Estos valores medios están muy próximos al rango de temperatura óptimo (25-35°C) para la germinación en condiciones de laboratorio de las semillas frescas de *T. mexicanum*, donde se alcanza más de un 90% de germinación final (Muñoz *et al.* 2001, Sánchez *et al.* 2003). Una emergencia final pobre en condiciones de vivero de las semillas no tratadas o intactas demostró que el proceso de emergencia es complejo, y no depende sólo del vigor de las semillas y la temperatura del suelo. Al parecer, el patrón de emergencia de una población de plántulas y su crecimiento están determinados por la compleja interacción que se establece entre las condiciones edafoclimáticas del suelo y las características de las semillas y las plántulas (Perry 1978, Finch-Savage *et al.* 1998, Whalley *et al.* 2001).

Por el contrario, existió una correspondencia casi exacta entre el porcentaje de emergencia final de las plántulas en vivero y el de germinación final en laboratorio bajo estrés calórico (25-45°C), y tratamientos pregerminativos similares (Sánchez *et al.* 2003) (Figura 1). Al incrementarse la germinación con los tratamientos robustecedores se incrementó linealmente la emergencia final de las plántulas en vivero ( $r=0,96$ ;  $p \leq 0,001$ ). Este es un resultado interesante, debido a que las condiciones de estrés abiótico son las que usualmente encuentran las semillas del vivero o el campo

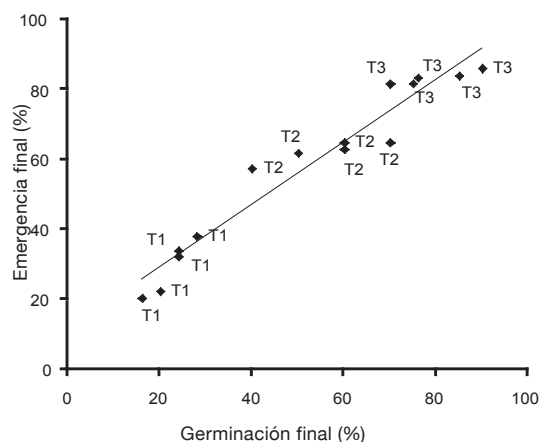


Fig. 1. Relación lineal entre el porcentaje de germinación final obtenido en laboratorio y el porcentaje de emergencia final de plántulas alcanzado en vivero según los tratamientos pregerminativos aplicados en semillas de *T. mexicanum*. T1, semillas no tratadas o control; T2, semillas hidratadas parcialmente en agua; y T3, semillas sometidas a hidratación parcial más choque térmico.

(Khan 1992). Bradford (1986) y Sánchez *et al.* (2003) sugieren que para mejorar el funcionamiento de las semillas en campo, se debe propiciar el incremento de la germinación en laboratorio bajo condiciones de estrés (*e.g.* potencial de agua reducido y temperaturas adversas).

Los resultados obtenidos con los tratamientos robustecedores (en particular con el T3) demuestran que dichos procedimientos son

adecuados tanto para mejorar la germinación de las semillas de *T. mexicanum* (Sánchez *et al.* 2003, 2004, Sánchez y Muñoz 2004), como la emergencia de sus plántulas. Resultados similares han sido obtenidos por otros autores (Khan 1992, Sánchez *et al.* 2001a, b, Orta *et al.* 2004) en diversos cultivos, cuando someten sus semillas a tratamientos de hidratación-deshidratación en combinación o no con tratamientos de choque térmico.

La efectividad de los tratamientos robustecedores de hidratación-deshidratación para incrementar y acelerar la emergencia de las plántulas no sólo se debe a la activación de eventos metabólicos relacionados con la fase pregerminativa, sino también a que producen cambios bioquímicos-fisiológicos profundos que inducen una tolerancia de las plantas al estrés ambiental (cuantitativos en la síntesis de proteínas y disminución del potencial de agua base o requerido para la inhibición de la germinación) (Henckel 1982, Bradford 1995, Kozłowski y Pallardy 2002). Welbaum *et al.* (1998) además, plantearon que los tratamientos de hidratación parcial incrementan el establecimiento debido a que aceleran la emergencia de las plántulas (lo que permite evadir la incertidumbre del ambiente) y disminuye la pérdida de electrolitos por las semillas (*i.e.* aminoácidos y azúcares), esto último contribuye a reducir los ataques fúngicos considerablemente. Igualmente, se conoce que el incremento de la termotolerancia en las plántulas,

por los tratamientos robustecedores de choque térmico, correlaciona con una mayor síntesis de proteínas de alto peso molecular o de estrés calórico (*i.e.* cambios cualitativos), que al parecer evitan la desnaturalización de las proteínas de las membranas cuando las plantas son sometidas a altas temperaturas (Vierling 1991, Medina y Cardemil 1993, Young *et al.* 2001).

Por su parte, el vigor de las plántulas también se afectó significativamente ( $p \leq 0,05$ ) por los tratamientos pregerminativos aplicados (Cuadro 3). Todas las variables analizadas, excepto la relación masa seca raíz:parte aérea total, mostraron una variabilidad considerable entre tratamientos. Las semillas tratadas (T2 y T3) produjeron plántulas con mayor desarrollo vegetativo que las plántulas procedentes de las semillas testigo (T1), alcanzándose los mejores resultados con la combinación de tratamientos robustecedores (T3). Al parecer, los tratamientos de hidratación parcial y de choque térmico inducen cambios metabólicos o morfológicos en las semillas que aceleran el desarrollo vegetativo de las plántulas (Henckel 1964, Vierling 1991), como ha sido comprobado en diversas especies cultivables en distintas situaciones del ambiente (Sánchez *et al.* 1999, 2001b, 2003, Orta *et al.* 2004).

La variable que representó la distribución de la biomasa no difiere significativamente ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos; sin embargo, su magnitud evidenció que las plántulas asignaron mayor

Cuadro 3. Efecto de los tratamientos pregerminativos sobre el vigor de las plántulas de *T. mexicanum* a 15 días de iniciada la emergencia. E.E (error estándar de las medias).

Tratamientos	Masa seca (g)				Índice de área foliar	Raíz:Aérea total
	Tallo	Raíces	Parte aérea	Total		
T1	0,0004 b <sup>1</sup>	0,0004 c	0,0007 c	0,0015 c	0,0004 c	0,3534 a
T2	0,0009 a	0,0013 b	0,0031 b	0,0053 b	0,0008 b	0,3302 a
T3	0,0012 a	0,0021 a	0,0050 a	0,0083 a	0,0014 a	0,3381a
E.E (±)	0,0002	0,0005	0,0012	0,0020	0,0002	0,0046

T1: semillas no tratadas o control. T2: un ciclo de hidratación-deshidratación. T3: un ciclo de hidratación-deshidratación más choque térmico.

<sup>1</sup>Medias con letras distintas, por columnas difieren significativamente ( $p \leq 0,05$ ) mediante la prueba de Duncan.



cantidad de recursos al desarrollo vegetativo de la parte aérea, en detrimento de la parte subterránea. Posiblemente como vía para asegurar un rápido crecimiento y así evadir las fluctuaciones del ambiente en que se desarrollan las especies forestales pioneras tropicales (Bazzaz 1996). Esta estrategia de distribución de la biomasa, probablemente también se deba a las pocas reservas nutricionales que presentan las semillas de las plantas forestales pioneras con relación a aquellas de estadios más avanzados de la sucesión (Foster 1986, Herrera-Peraza *et al.* 1997, Muñoz *et al.* 2001). Se conoce que las semillas grandes se establecen mejor a la sombra, bajo condiciones de sequía o en suelos pobres en nutrientes (fundamentalmente

N, P, K) que aquellas provenientes de semillas pequeñas (Milberg y Lamot 1997).

### Correlación de las variables de crecimiento y su dinámica en vivero

En ambas condiciones de iluminación del sustrato todas las variables analizadas, excepto la relación masa seca raíz:parte aérea total, jugaron un papel significativo ( $p \leq 0,01$ ) según el círculo de correlación interno, propuesto por Fariñas (1996), en el espacio bidimensional definido por los 2 primeros componentes principales que explican más de un 90% de la variabilidad total de los datos (Figura 2). Además, se apreció que

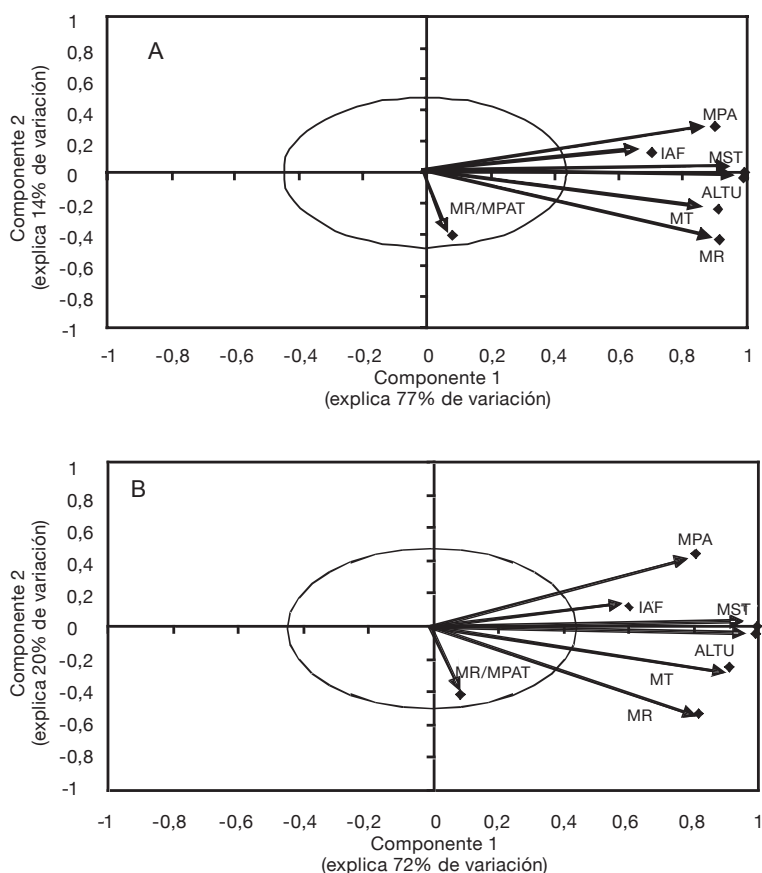


Fig. 2. Disposición de las variables en el primer plano de ordenamiento bidimensional. El vector correspondiente a cada variable indica la dirección en que esta aumenta y el círculo de correlación señala el valor a partir del cual son significativas ( $p \leq 0,01$ ). Significado de las variables: MPA (masa seca parte aérea), IAF (índice de área foliar), MST (masa seca total planta), ALTU (altura total planta), MT (masa seca tallo), MR (masa seca raíz) y MR/MPAT (relación masa seca raíz:parte aérea total). (A) siembra en sombra parcial y (B) siembra en plena exposición solar.

el primer componente principal está constituido por un manojo de vectores, representado por las variables de crecimiento (masa seca de la parte aérea, raíz, tallo y total, altura de la planta y el índice de área foliar) que están correlacionados positivamente entre sí y con el primer componente principal. El segundo componente principal está constituido, fundamentalmente, por la variable que representó la distribución de la biomasa; sin embargo, esta última variable no mostró correlación significativa con ninguno de los primeros ejes o componentes, ni con el resto de las variables de crecimiento estudiadas, como ya se señaló. Este resultado es normal, debido a la baja variabilidad que presentó la distribución de la biomasa durante todo el experimento de vivero y entre tratamientos. Los valores de esta variable fueron muy similares a los reportados en el ensayo de vigor de las plántulas (Cuadro 3).

Al mismo tiempo, se observó (Figura 2) que las variables que más contribuyeron (*i.e.* correlación) a la formación del primer componente fueron la masa seca total de la planta y la altura total de la planta ( $r=0,98$ ). Esto demuestra, que dichas variables son las que presentaron mayor variabilidad al ser tratadas las semillas y sembradas en diferentes condiciones de iluminaciones del sustrato; por consiguiente, fueron estas las que se analizaron en las pruebas de hipótesis que se discuten a continuación.

Los análisis de varianza aplicados al ensayo factorial demostraron que tanto la masa seca total de la planta, como la altura total de la planta son el resultado de interacciones altamente significativas ( $p \leq 0,001$ ) que se establecieron entre el tiempo de permanencia de las plantas en vivero, la condición de iluminación del sustrato y los tratamientos pregerminativos aplicados. Estos resultados también se apreciaron por el cambio de intensidad que tiene la respuesta de las variables analizadas con relación al tiempo de siembra (Figura 3). El crecimiento de las plantas se incrementó linealmente bajo cualquier condición de iluminación del sustrato y tratamiento pregerminativo aplicado (Figura 3 y Cuadro 4). Sin embargo, esa tendencia lineal posiblemente estuvo influenciada por el riego diario a que

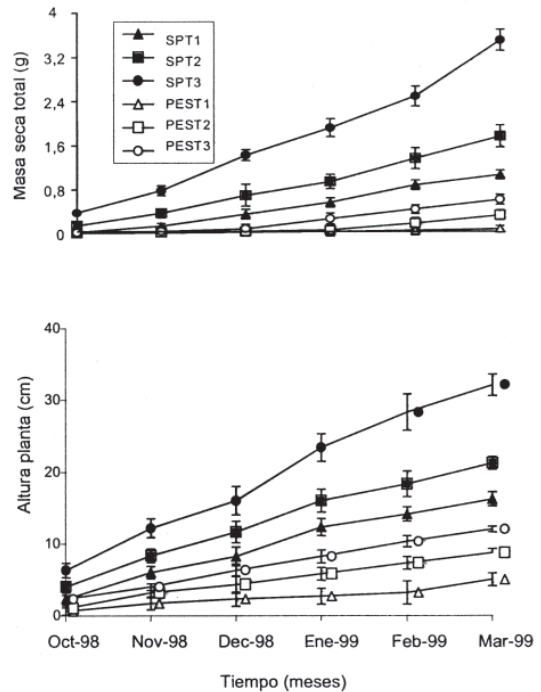


Fig. 3. Dinámica de crecimiento de plantas de *T. mexicanum* en condiciones de vivero según los tratamientos pregerminativos aplicados y condiciones de iluminación del sustrato. Tratamientos de iluminación del sustrato: SP, sombra parcial y PES, plena exposición solar. Tratamientos pregerminativos: T1, semillas no tratadas o control; T2, semillas hidratadas parcialmente en agua; y T3, semillas sometidas a T2 más choque térmico. Las líneas verticales representan el error estándar de la media cuando es más grande que el símbolo.

estuvieron sometidas las plántulas, debido a que gran parte de su desarrollo ocurrió en meses de baja precipitación (Cuadro 1).

Las plantas con mayor crecimiento siempre se obtuvieron cuando las semillas, tratadas o no, se sembraron en la condición de iluminación del sustrato denominada sombra parcial; alcanzándose los mejores efectos con el tratamiento robustecedor T3. Con este procedimiento se logró duplicar y hasta triplicar la altura y la masa seca total de las plantas, respectivamente, con relación a las plantas procedentes de las semillas control (Figura 3). En plena exposición solar, los mejores resultados para incrementar el crecimiento, se

Cuadro 4. Ecuación de regresión y coeficientes de determinación (R<sup>2</sup>) de la relación entre la masa seca total de la planta (g) y la altura de la planta (cm) con respecto al tiempo de permanencia en vivero (meses) de *T. mexicanum* según los tratamientos pregerminativos aplicados y las condiciones de iluminación del sustrato. Símbolo: \*\*\* significativo a 0,001 de probabilidad.

Variantes	Masa seca total planta		Altura planta	
	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup>	Ecuación de regresión	R <sup>2</sup>
<b>Sombra parcial</b>				
T1	$y = -0,29 + 0,18 x$	0,84***	$y = -0,19 + 2,82 x$	0,92***
T2	$y = -0,33 + 0,32 x$	0,95***	$y = 0,76 + 3,51 x$	0,95***
T3	$y = -0,69 + 0,66 x$	0,96***	$y = 0,66 + 5,34 x$	0,95***
<b>Plena exposición solar</b>				
T1	$y = -0,01 + 0,01 x$	0,90***	$y = -0,10 + 0,76 x$	0,93***
T2	$y = -0,02 + 0,03 x$	0,95***	$y = -1,68 + 1,29 x$	0,95***
T3	$y = -0,06 + 0,06 x$	0,95***	$y = 0,25 + 2,98 x$	0,94***

T1: semillas no tratadas o control. T2: un ciclo de hidratación-deshidratación. T3: un ciclo de hidratación-deshidratación más choque térmico.

obtuvieron igualmente con el tratamiento pregerminativo T3; pero estos fueron significativamente inferiores a los que se alcanzaron en aquellas plantas procedentes de semillas no tratadas que se sembraron en sombra parcial. Al parecer, el crecimiento de las plantas se vio favorecido con las condiciones climáticas creadas bajo la condición de sombra parcial del sustrato (Cuadro 5).

Estos resultados evidenciaron que las plantas de *T. mexicanum* son muy sensibles a las altas irradiaciones solares durante los primeros meses de vida, sin embargo, cuando se aclimatizan inicialmente en condiciones de sombra parcial, son

capaces de crecer adecuadamente bajo insolación total, tal como ha sido reportado para otras especies forestales pioneras de ecosistemas tropicales (Fetcher *et al.* 1987, Bazzaz 1996, Herrera-Peraza *et al.* 1997).

Una explicación a este fenómeno, es que posiblemente las condiciones de siembra a insolación total (*i.e.* alto flujo de densidad fotónica y altas temperaturas) inducen a la fotoinhibición de la fotosíntesis; proceso que ha sido bien documentado en un gran número de especies (Demming-Adams y Adams III 1992, Bazzaz 1996, Alves *et al.* 2002), y que al parecer, inhiben el fotosistema

Cuadro 5. Medias mensuales de las temperaturas (media, máxima y mínima) y la humedad relativa durante los 2 primeros meses de estancia de las plantas de *T. mexicanum* en vivero y según la condición de iluminación del sustrato.

Variantes	Sombra parcial			Plena exposición solar		
	Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
<b>Temperatura del suelo (°C)</b>						
Octubre	25,3	31,4	22,1	28,0	34,0	24,5
Noviembre	22,3	24,3	21,0	25,2	29,6	21,8
<b>Temperatura del aire (°C)</b>						
Octubre	26,2	32,8	22,7	28,2	34,0	25,7
Noviembre	24,1	29,1	22,3	26,1	30,8	22,3
<b>Humedad relativa (%)</b>						
Octubre	85	96	66	82	92	61
Noviembre	86	97	63	80	93	53

II de la fotosíntesis y la ganancia neta de toma de  $\text{CO}_2$  (Valladares *et al.* 2000, 2002, Pshibytko *et al.* 2003). De hecho, las plantas sembradas en condiciones de insolación total, mostraron un crecimiento muy similar a las sembradas en sombra parcial, cuando al final del experimento de vivero se trasladaron a condiciones de sombra parcial creada por árboles de *Swietenia mahagoni* (datos no mostrados).

Las plántulas de *T. mexicanum* dependen para su establecimiento de la simbiosis que se establece con las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA) (Herrera-Peraza *et al.* 1997). Por consiguiente, otra explicación posible al débil crecimiento de esta especie en condiciones de insolación total podría deberse a una asociación no adecuada de las MVA con la planta huésped (Herrera-Peraza *et al.* 1988, Caris *et al.* 1998, Graham y Abbot 2000). En general, este comportamiento se asocia a desbalances entre los factores involucrados en el establecimiento de la simbiosis como son, condiciones estresantes de iluminación y de temperatura. En tales casos, el transporte de fósforo hacia la planta no es compensado con el drenaje de carbono de la planta al hongo (Orozco 2003). También la fotoinhibición de la fotosíntesis podría inducir una relación no óptima entre el hongo y la planta (Son y Smith 1988). Ensayos experimentales para dilucidar estas hipótesis son factibles.

En general, la mayor producción de materia seca total que obtuvieron las plantas sembradas en condiciones de sombra parcial, también se reflejó en el índice de tasa de crecimiento relativo de la biomasa total (Cuadro 6), que se determinó al término de la condición de sombra parcial (60 días), y al final de la estancia de las plantas en vivero (180 días). En ambos periodos y condiciones de iluminación del sustrato, los mejores resultados para acelerar el crecimiento de las plantas fueron obtenidos con el tratamiento pregerminativo T3, aunque los resultados con el tratamiento T2 también son muy satisfactorios cuando se compararon con el control (T1). Dichos resultados también se corroboraron con los altos valores de los coeficientes de regresión lineal (Cuadro 4), que se derivaron de las relaciones

Cuadro 6. Efecto de los tratamientos robustecedores y las condiciones de iluminación del sustrato sobre la tasa de crecimiento relativo de la biomasa total ( $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ) de las plantas de *T. mexicanum*.

Variantes	Tiempo de estancia en vivero	
	60 días	180 días
Sombra parcial		
T1	0,0031	0,0064
T2	0,0082	0,0107
T3	0,0128	0,0212
Plena exposición solar		
T1	0,0003	0,0004
T2	0,0005	0,0008
T3	0,0008	0,0019

T1: semillas no tratadas o control. T2: un ciclo de hidratación-deshidratación. T3: un ciclo de hidratación-deshidratación más choque térmico.

entre las variables analizadas y el tiempo de permanencia de las plantas en vivero (ecuación de regresión lineal), tanto para las semillas tratadas con relación a las no tratadas, bajo cualquier condición de siembra.

Finalmente, esta disimilitud en crecimiento también se evidenció mediante la aplicación de análisis de componentes principales, a partir de una matriz cuya información sólo contiene los valores de las variables de crecimiento para el sexto mes de su estancia en vivero. En general, los 2 primeros ejes de este análisis explican más de un 95% de la variabilidad total de los datos. Las variables de crecimiento mostraron correlaciones altamente significativas entre sí y con el primer componente (Figura 4).

Dos tipos de configuraciones opuestas parecen predominar en el análisis dual de las variables y los individuos. Las plantas procedentes de la siembra realizada en la condición de sombra parcial, se ubicaron en regiones del espacio de ordenamiento donde aumenta y se obtienen los valores de crecimiento máximos. En cambio, los individuos procedentes de la siembra a plena exposición solar se segregaron hacia el espacio de ordenamiento donde se alcanzan los valores mínimos de crecimiento. Sin embargo,

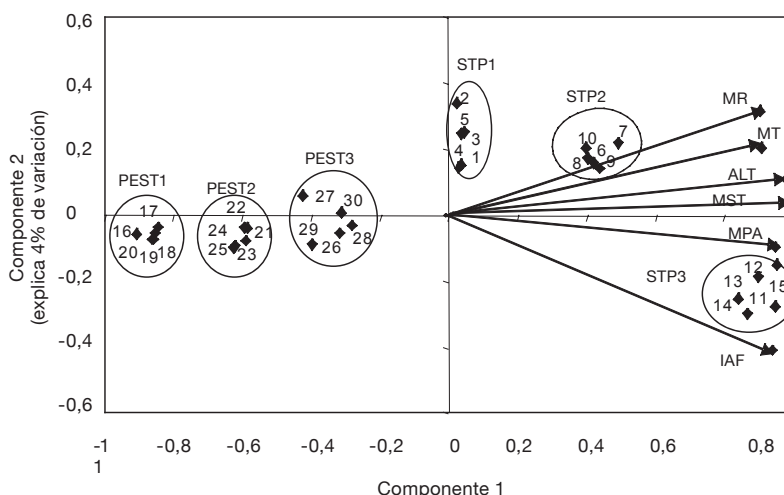


Fig. 4. Gráfico dual de las variables y los individuos (números). El vector correspondiente a cada variable indica la dirección en que esta aumenta. Significado de las variables: MPA (masa seca parte aérea), IAF (índice de área foliar), MST (masa seca total planta), ALTU (altura total planta), MT (masa seca tallo) y MR (masa seca raíz). Tratamientos de iluminación del sustrato: SP, sombra parcial y PES, plena exposición solar. Tratamientos pregerminativos: T1, semillas no tratadas o control; T2, semillas hidratadas parcialmente en agua; y T3, semillas sometidas a hidratación parcial más choque térmico.

en ambas configuraciones se observó un gradiente de ubicación de los individuos de acuerdo al tratamiento pregerminativo aplicado; los valores de crecimiento máximos se observaron en los individuos procedentes del tratamiento T3 y los valores mínimos en los derivados de las semillas no tratadas o control. Por tanto, el análisis del comportamiento integral de las plantas sugiere que la combinación de los tratamientos robustecedores (T3) produce una forma de crecimiento muy diferente al de las plantas control (T1), aspecto que se comprobó en condiciones de campo y se discute a continuación.

### Supervivencia de las plantas en campo y dinámica de crecimiento

La supervivencia de las plantas, un mes después de su transplante a las condiciones de campo, fue máxima para las plantas procedentes del tratamiento T3 y de un 97% para aquellas pro-

venientes del T1. Bajo las condiciones de siembra en campo (*i.e.* cielo abierto) sólo aparecieron 3 plantas muertas del tratamiento control, pero este hallazgo pudo ser superior si se tiene en cuenta que las plantas control llegaron al campo con la mitad de la altura total ( $16,2 \pm 1,5$  cm) de los valores que se obtuvo para las plantas tratadas ( $32,1 \pm 2,5$  cm). Al parecer, el riego al que estuvieron sometidas las plantas durante sus primeros días de estancia en campo contribuyó con los altos porcentajes de supervivencia alcanzados.

El crecimiento de las plantas de *T. mexicanum* en condiciones de campo siguió un comportamiento muy similar al obtenido en condiciones de vivero; las plantas procedentes de las semillas tratadas presentaron mayor altura y diámetro en la base que aquellas derivadas del tratamiento testigo (Figura 5). Ambas variables tienen una tendencia curvilínea de crecimiento, y se ajustaron por una ecuación logarítmica. La fase de máximo crecimiento para las plantas

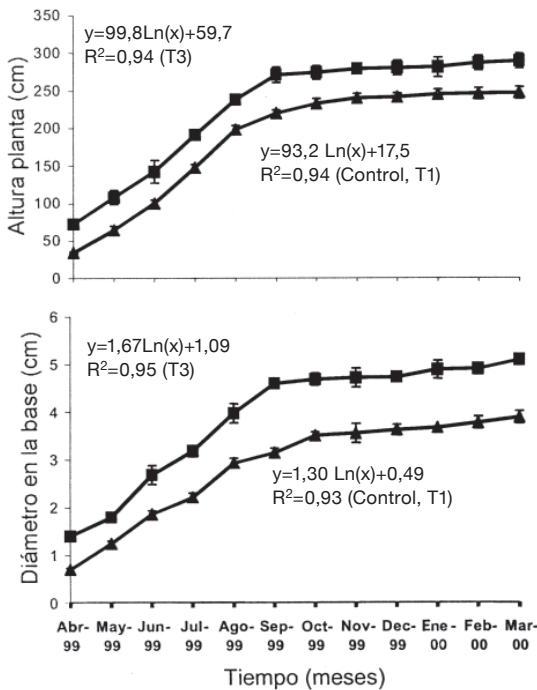


Fig. 5. Dinámica de crecimiento de las plantas de *T. mexicanum* en campo según los tratamientos aplicados. Control: semillas no tratadas (▲); y Tratamiento: hidratación parcial en agua más un choque térmico (■). Las líneas verticales representan el error estándar de la media cuando es más grande que el símbolo.

procedentes del tratamiento robustecedor y control abarcó los 6 y 7 primeros meses de estancia en campo, respectivamente. En este periodo (de abril a octubre) al parecer se registraron condiciones favorables para el crecimiento: temperatura media de 25,9°C y 1778 mm de precipitación (Cuadro 1), obteniéndose el máximo crecimiento (tasa absoluta) en los meses de julio y agosto.

En la siguiente fase de crecimiento, se obtuvo una reducción muy considerable del incremento en altura y diámetro en la base de las plantas de ambos tratamientos pregerminativos, coincidió con la disminución de la temperatura media (22,3°C) y de la precipitación (181,7 mm) (Cuadro 1). Durante esta fase de crecimiento, en

particular en los meses de noviembre a enero, se observó una caída pronunciada de hojas de las plantas de los 2 tratamientos, que representó aproximadamente una pérdida del 50% de la biomasa foliar. Este fenómeno comenzó a revertirse cuando se inició el incremento de las lluvias en el mes de marzo. El comportamiento semicaducifolio de *T. mexicanum* en nuestro sitio de siembra, contrasta con su forma siempreverde en condiciones naturales, lo cual es lógico dado que ocupa fundamentalmente lugares húmedos (cerca de ríos, arroyos y cañadas) y semiprotectidos (Herrera-Peraza *et al.* 1997, Albert *et al.* 2000).

El diámetro a 1,30 m sobre el nivel del suelo (DAP), también fue superior en las plantas procedentes de las semillas tratadas que en las control (Figura 6). En este caso mostró una tendencia lineal, siendo más marcada para las plantas tratadas. Además, la altura de las plantas de ambos tratamientos dependió significativamente de la variabilidad del DAP durante el periodo estudiado (Figura 7), lo que significó que al incrementarse el DAP aumentó significativamente la altura de las plantas. Sagué (1976) y Hernández (2004) obtuvieron resultados similares al correlacionar el DAP con variables de crecimiento de diferentes especies forestales de la Sierra del Rosario; por tanto se evidenció que el DAP es buen estimador del crecimiento de las plantas de *T. mexicanum*.

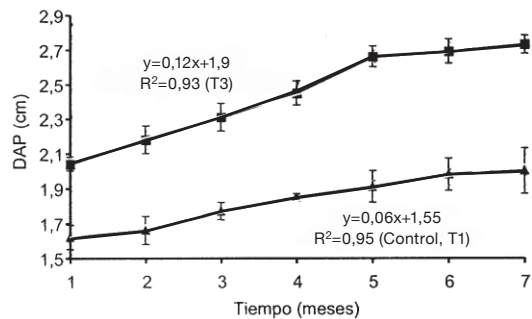


Fig. 6. Crecimiento del diámetro del tallo a 1,30 m sobre el nivel del suelo (DAP) para las plantas de *T. mexicanum* sembradas en campo. Control: semillas no tratadas (▲); y Tratamiento: hidratación parcial en agua más un choque térmico (■). Las líneas verticales representan el error estándar de la media.



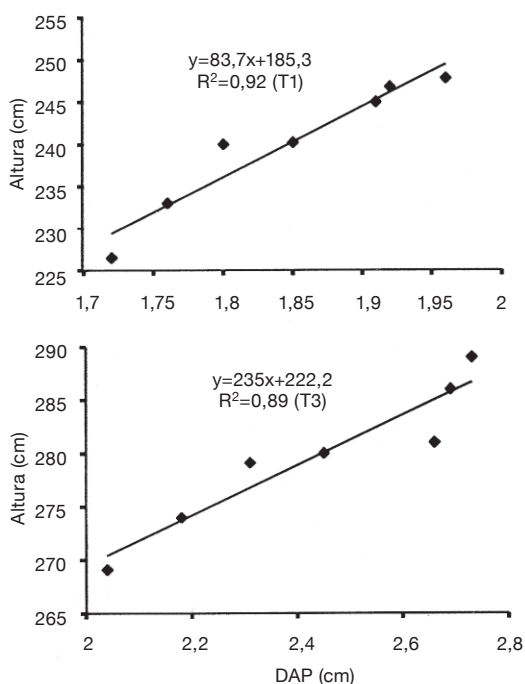


Fig. 7. Relación lineal entre el diámetro del tallo a 1,30 m sobre el nivel del suelo (DAP) y la altura total de plantas de *T. mexicanum* según el tratamiento pregerminativo. Control: semillas no tratadas; y Tratamiento: hidratación parcial en agua más un choque térmico.

Con la combinación de los tratamientos robustecedores también se incrementó significativamente la biomasa aérea y subterránea de las plantas al cabo de 1 año de su siembra en campo con relación al tratamiento control (Cuadro 7). Este resultado además, se reflejó en el incremento de la tasa de crecimiento relativo de la biomasa total, obtenido para las plantas procedentes del tratamiento robustecedor ( $3,51 \text{ g g}^{-1}\text{día}^{-1}$ ) con relación a las testigo ( $1,68 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ ).

Según Welbaum *et al.* (1998), la mayor velocidad de crecimiento de las plantas procedentes de los tratamientos robustecedores, le permite a las mismas evadir con mayor efectividad la incertidumbre del ambiente y con esto asegurar la supervivencia y crecimiento de la especie; aspectos que podrían ser muy importantes para la reforestación sucesional, debido a que posiblemente acelere la reparación de las características edáficas y microclimáticas que permitan el crecimiento de especies de etapas sucesionales más maduras.

Por su parte, la distribución de la biomasa (masa seca raíz:parte aérea total) no mostró variabilidad entre los tratamientos y siguió un comportamiento muy similar al obtenido en condiciones de siembra en vivero (*i.e.* asigna mayores

Cuadro 7. Efecto de los tratamientos pregerminativos de semillas sobre la producción de biomasa subterránea y aérea (g) de plantas de *T. mexicanum*, después de sembradas en condiciones de campo durante 1 año. Control: semillas no tratadas, y Tratamiento: semillas sometidas a hidratación parcial en agua más un choque térmico.

Variables	Control	Tratamiento	"t"
<b>Biomasa subterránea</b>			
Raíz principal	73,3 ± 4,38	146,5 ± 6,53	***
Raíces ≥6,45 mm	47,4 ± 5,57	118,7 ± 3,84	***
Raíces <6,45 mm	52,2 ± 2,09	102,5 ± 5,01	***
Total raíces	173,0 ± 5,94	363,7 ± 5,87	***
<b>Biomasa aérea</b>			
Tallo	284,6 ± 31,8	587,0 ± 17,5	***
Ramas	50,8 ± 5,87	144,5 ± 4,65	***
Hojas	67,8 ± 5,69	134,5 ± 2,84	***
Total aérea	403,5 ± 8,30	866,2 ± 7,34	***
<b>Distribución de la biomasa</b>			
Total planta	576,6 ± 9,34	1230,0 ± 7,34	***
Total raíces:total aérea	0,42 ± 0,05	0,40 ± 0,09	NS

\*\*\*; significativo a 0,001 de probabilidad

NS: no significativo.

recursos al crecimiento de la parte aérea), aunque la magnitud de la variable fue superior. Este último resultado demostró que en condiciones de campo las plantas incrementaron la cantidad de recursos que destinaron al desarrollo vegetativo de la parte subterránea; posiblemente como vía de minimizar el estrés hídrico que sufrieron durante la estación seca, tal como ha sido reportado en otras especies (Henckel 1982, Kozlowski y Pallardy 2002).

Por último, el tratamiento robustecedor de semillas (T3) incrementó significativamente el número de plantas florecidas en la especie. Con el tratamiento pregerminativo se obtuvo floración en 16 plantas, en cambio con el tratamiento control sólo floreció un individuo. El número promedio ( $\pm$  E.E) de semillas producidas por fruto, también fue superior en las plantas del tratamiento robustecedor ( $10,1 \pm 0,6$ ) en comparación con las testigo ( $4,0 \pm 0,3$ ). Los valores de esta variable están muy cercanos a los reportados por Muñoz y Sánchez (2000) para árboles adultos de *T. mexicanum*, que crecen en la Sierra del Rosario, Cuba, y de igual forma se determinó que la reproducción de esta especie comienza muy tempranamente, tal como fue reportado por Albert *et al.* (2000). Asimismo, la cantidad de frutos producidos por planta fue superior en aquellas procedentes de las semillas tratadas (41,6 como promedio, máximo 64 y mínimo 34) que en la única planta procedente del tratamiento testigo que produjo frutos (22). Estos valores determinaron que el número total de semillas producidas en las plantas robustecidas fuera considerablemente superior (5138) al que se obtuvo en la planta control (156).

Los resultados obtenidos en condiciones de vivero y de campo demostraron que las plántulas y plantas de *T. mexicanum* pueden crecer en condiciones de insolación total después de un periodo de aclimatización en sombra parcial. Según Herrera-Peraza *et al.* (1997), las especies forestales pioneras tardías son comúnmente semitolerantes a la sombra, sobre todo aquellas que pueden ocupar sitios semiprotectidos como es el caso de *T. mexicanum*. Además, las semillas de esta especie tienen pocas reservas nutricionales

en comparación con otras de estadios avanzados de la sucesión (Muñoz *et al.* 2001, Torres-Arias 2003), por consiguiente producen plántulas poco vigorosas, que son muy sensibles a la sequía y a la acción de los depredadores, tal como ha sido informado por Fenner (1985) para otras especies vegetales que presentan semillas pequeñas.

De hecho, bajo insolación total, el crecimiento de las plantas de *T. mexicanum*, tanto las testigo como las tratadas, se afectó significativamente con relación a las que crecieron en la condición denominada como sombra parcial. La velocidad de crecimiento de las plantas resultantes de las semillas no tratadas, en esta última condición de siembra puede considerarse alta, pues en 6 meses las plantas alcanzaron una altura promedio de 16,2 cm, sin la utilización de fertilizantes y sembradas en suelo con bajo contenido de materia orgánica y nutrientes. Los valores de las variables de crecimiento obtenidos en las plantas de *T. mexicanum* no pueden compararse con otros estudios, pues hasta donde se conoce no existe información sobre el crecimiento de esta especie. No obstante, según Herrera-Peraza *et al.* (1997), las especies forestales pioneras tardías presentan alta velocidad de crecimiento, que les permite restaurar rápidamente la cobertura vegetal de la comunidad y con esto facilitar el desarrollo de especies de estadios avanzados de la sucesión.

Este último proceso podría ser acelerado con la aplicación de los tratamientos robustecedores de semillas. La combinación del tratamiento de hidratación parcial más el choque térmico logró duplicar el crecimiento de las plantas de *T. mexicanum* en condiciones de vivero, y este efecto positivo se mantuvo durante la estancia de las mismas en condiciones de campo; lográndose incluso hasta incrementar el número de individuos florecidos. Resultados similares se han obtenido en diversas hortalizas y especies forestales cubanas, cuando sus semillas fueron sometidas a distintos tratamientos robustecedores y sembradas en condiciones de vivero (Sánchez *et al.* 1998, 1999, 2003, Orta *et al.* 2004, Montejo *et al.* 2004). Lo cual indica que los tratamientos

robustecedores de semillas estimulan el crecimiento de las plantas, posiblemente porque aceleran el desarrollo ontogenético del vegetal o induce la expresión de fenotipos mejorados, tal como ha sido reportado en otras especies no arbóreas cultivadas (Henckel 1982).

Paralelo a esto se demostró que *T. mexicanum* crece en Cuba en diferentes tipos de suelo. Por consiguiente, la no entrada de la especie a sitios sometidos a altas irradiaciones solares deberá estar relacionada con otra fase del crecimiento de la planta, como quedo demostrado en el experimento de vivero. Al parecer, la fase más crítica para el establecimiento de la especie en dichas condiciones ambientales es el crecimiento de sus pequeñas plántulas y no su germinación.

Así, los resultados obtenidos en *T. mexicanum* con la aplicación combinada de los tratamientos pregerminativos de hidratación parcial con los de choque térmico, demostraron que los procedimientos referidos aceleraron e incrementaron la emergencia, el crecimiento, la floración y la producción de semillas. Aspectos que pueden considerarse muy satisfactorios si se tiene en cuenta que los experimentos se desarrollaron sin la aplicación de fertilizantes, ni plaguicidas. Por consiguiente, la ecotecnología aplicada podría constituir una vía rápida y alternativa para el desarrollo de una agricultura sostenible, debido a que mejora el establecimiento de las plantas sin la utilización de aditivos químicos durante la inmersión de las semillas y posterior siembra. La aplicación de los tratamientos robustecedores también contribuiría a disminuir el número de semillas a emplear en los experimentos de vivero y el tiempo de estancia de las plantas en dichas condiciones de siembra, así como a incrementar la repoblación forestal bajo condiciones ecológicas adversas o cambiantes; tal como se propone en los posibles escenarios ambientales inducidos por el cambio climático.

## CONCLUSIONES

La combinación de tratamientos robustecedores (hidratación parcial más choque térmico) fue el procedimiento más efectivo, de los empleados,

para incrementar la emergencia y el vigor de las plántulas en condiciones de vivero. Existió una correlación positiva entre el porcentaje de germinación final y el porcentaje de emergencia final de las plántulas.

Las plantas de *T. mexicanum* sobrevivieron en plena exposición solar, pero necesitan un período de aclimatización en sombra previo a su exposición a insolación total.

La combinación de tratamientos robustecedores propició la mayor producción de fitomasa de las plantas en condiciones de vivero y de campo, e incrementaron la floración y producción de semillas.

## AGRADECIMIENTOS

A Nancy Ricardo Nápoles, Ricardo Herrera-Peraza, Luis Balaguer y Guillermina Hernández por la revisión crítica del manuscrito. La investigación fue parcialmente financiada por un proyecto MAB-UNESCO (SC/ECO/565/19.1) a J. A. S.

## LITERATURA CITADA

- ACADEMIA DE CIENCIAS DE CUBA. 1989. Nuevo atlas nacional de Cuba. Instituto de Geografía e Instituto Cubano de Geodesia y Cartografía. Gráficas ALBER, España. 72 p.
- ALBERT D., MARTELL A., HERRERA P., VIGIL-ESCALERA V. 2000. Fenología de *Trichospermum grewifolium* (A. Rich.) Kosterm. (Tiliaceae). Acta Botánica Cubana 140:1-8.
- ALVES P. L. D. da. C. A., MAGALHAES A.C. N., BARJA P. R. 2002. The phenomenon of photoinhibition of photosynthesis and its importance in reforestation. Bot. Rev. 68:193-208.
- ANDOH H., KOBATA T. 2002. Effect of seed hardening on the seedling emergence and alpha-amylase activity in the grains of wheat and rice sown in dry soil. Japanese J. Crop Sci. 71:220-225.
- BAZZAZ F. A. 1996. Plants in changing environments: linking physiological, population, and community ecology. Cambridge University, Cambridge. 320 p.

- BLACKMAN V. H. 1919. The compound interest law and plant growth. *Ann. Bot.* 33:353-360.
- BRADFORD K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience* 21:1105-1112.
- BRADFORD K. J. 1995. Water relations in seed germination. *In: Seed development and germination.* Kigel J, Galili G. Marcel Dekker (eds). New York, Basel, Hong Kong. p. 351-396.
- CARIS C., HORDT W., HAWKINS H. J., ROMHELD V., GEROG E 1998. Studies of iron transport by arbuscular mycorrhizal hyphae from soil to peanut and sorghum plants. *Mycorrhiza* 8: 35-39.
- DALLING J. W. 1995. The effect of the litter and soil disturbance on seed germination in upper montain rain forest, Jamaica. *Carib. J. Sci.* 31:223-229.
- DEMMING-ADAMS B., ADAMS III W.W. 1992. Photoprotection and other responses of plants to high light stress. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 43:599-626.
- DRIESSEN P. O., DECKERS J., SPAAR C., NACHTER-GEEHE F. 2001. Lecture notes on the mayor soil. Resources Report. FAO, Rome. 335 p.
- FARIÑAS M. R. 1996. Análisis de la vegetación y sus relaciones con el ambiente mediante métodos de ordenamiento. Centro de Investigaciones Ecológicas de los Andes (CIELAT), Mérida, Venezuela, 256 p.
- FENNER M. 1985. Seed ecology. Chapman & Hall. London. 151 p.
- FERNÁNDEZ M., RICARDO N., MACHADO S., BARÓ I., MARTÍNEZ C., HERRERA P., ALBERT D., VENTOSA I., BRIDÓN G. 1999. Cuba y sus árboles. Editorial Academia, La Habana, 214 p.
- FETCHER N., OBERBAUER S. F., ROJAS G., STRAIN B. R. 1987. Efectos del régimen de luz sobre la fotosíntesis y el crecimiento en plántulas de árboles de un bosque lluvioso tropical de Costa Rica. *Rev. Biol. Trop.* 35:97-110.
- FINCH-SAVAGE W. E., STECKEL J. R. A., PHELPS K. 1998. Germination and post-germination growth to carrot seedling emergence: predictive threshold models and sources of variation between sowing occasions. *New Phytol.* 139: 505-516.
- FOSTER S. 1986. On the adaptive value of large seeds for tropical moist forest trees: A review and synthesis. *Bot. Rev.* 52:260-299.
- GRAHAN J. D., ABBOT L. K. 2000. Wheat responses to aggressive and non-aggressive arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 200:207-218.
- HENCKEL P.A. 1964. Physiology of plants under drought. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 15:363-386.
- HENCKEL P.A. 1982. Fisiología de la resistencia de las plantas al calor y a la sequía [en ruso]. Nauka, Moscú. 280 p.
- HERNÁNDEZ L. 2004. Dinámica de la fitomasa en plantaciones de *Hibiscus elatus* Sw. en la Sierra del Rosario, Cuba. *Acta Botánica Cubana* (En prensa).
- HERRERA-PERAZA, R. A., MENÉNDEZ L., VILAMAJÓ D. 1988. Las estrategias regenerativas, competitivas y sucesionales de los bosques siempreverdes en la Sierra del Rosario. *In: Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba, Proyecto MAB N° 1, 1974-1987.* Herrera-Peraza R. A., Menéndez L., Rodríguez M., García E. E. (eds.) ROSTLAC. Montevideo. p. 296-326.
- HERRERA-PERAZA R. A., ULLOA D. R., VÁLDES-LAFONT O., PRIEGO, A. G., VÁLDES A. R. 1997. Ecotechnologies for sustainable management of tropical forest diversity. *Nature & Resources* 33:2-17.
- INTERNATIONAL SEED TESTING ASSOCIATION (ISTA). 1999. International rules for seed testing. *Seed Sci. Technol. Supplement* (27), 155 p.
- KHAN A. A. 1992. Preplant physiological seed conditioning. *Hort. Rev.* 14:131-181.
- KOZLOWSKI T.T., PALLARDY S.G. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stress. *Bot. Rev.* 68:270-334.
- MEDINA C., CARDEMIL L. 1993. *Prosopis chilensis* is a plant highly tolerant to heat shock. *Plant Cell Env.* 16:305-310.
- MILBERG P., LAMONT B. B. 1997. Seed/cotyledon size and nutrient content play a major role in early performance of species on nutrient-poor soils. *New Phytol.* 137:665-672.
- MONTEJO L., SÁNCHEZ J. A., MUÑOZ B.C. 2004. Efectos de los tratamientos pregerminativos sobre la

- germinación y establecimiento de *Talipariti elatum*. Pastos y Forrajes (En prensa).
- MUÑOZ B., SÁNCHEZ J. A. 2000. Patrones seminales en especies arbóreas pioneras y su relación con el continuum *r-K*. Acta Botánica Cubana 143-149:18-24.
- MUÑOZ B., SÁNCHEZ J. A., MONTEJO L., HERRERA-PERAZA R. A. 2001. Características morfológicas y fisiológicas de semillas de *Prunus occidentalis*: Comparación entre especies de diferentes estrategias sucesionales. Ecotrópicos 14:1-10.
- NORMA RAMAL 892. 1988. Determinación de los contenidos de P, K, nitrógenos totales, porcentaje de materia orgánica y humus. Dirección de Normalización, Metrología y Control de la Calidad. MINAGRI, La Habana. 23 p.
- OROZCO M. O. 2003. Respuesta de seis leguminosas arbóreas a la inoculación micorrízica con suelos de diferentes potencialidades de colonización. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana. 72 p.
- ORTA R., SÁNCHEZ J. A., MUÑOZ B., CALVO E. 2004. Tratamientos acondicionadores y robustecedores de semillas y su efecto sobre el comportamiento reproductivo de las plantas. Siembra temprana del tomate. Acta Botánica Cubana 173-178: 19-23.
- PERRY D. A. 1978. Report of the vigour test committee 1974-1977. Seed Sci. Technol. 6:159-181.
- PSHIBYTKO N. L., KALITUKHO L. N., KABASHNIKOVA L. T. 2003. Effects of high temperature and water deficit on photosystem II in *Hordeum vulgare* leaves of various ages. Russian J. Plant Physiol. 50:44-51.
- RODRÍGUEZ A. 2000. Flora de Cuba. Serie A. Plantas Vasculares 3(5):1-38.
- SAGUÉ H. 1976. Productividad primaria neta de la comunidad en una plantación de *Hibiscus elatus* Sw. en Sierra del Rosario. Serie Forestal 25:1-25.
- SÁNCHEZ J. A., BLANCO T., MUÑOZ B. C. 1998. Inducción de tolerancia al déficit hídrico en *Trichospermum grewiifolium*. Acta Botánica Cubana 118:1-16.
- SÁNCHEZ J. A., CALVO E., MUÑOZ, B. C., ORTA, R. 1999. Efecto de los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación sobre la germinación, establecimiento, floración y fructificación del pepino. Agronomía Costarricense 23:193-204.
- SÁNCHEZ J. A., MUÑOZ, B. C. 2004. Effects of hydration and scarification treatments on the germination of *Trichospermum mexicanum*. Seed Sci Technol. 32: 621-627.
- SÁNCHEZ J. A., ORTA R., MUÑOZ B. C. 2001a. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. Agronomía Costarricense 25:67-92.
- SÁNCHEZ J. A., MUÑOZ B. C., FRESNEDA J. 2001b. Combined effects of hardening hydration-dehydration and heat shock treatments on the germination of tomato, pepper and cucumber. Seed Sci. Technol. 29:691-697.
- SÁNCHEZ J. A., MUÑOZ, B. C., MONTEJO L. 2003. Efectos de tratamientos robustecedores de semillas sobre la germinación y establecimiento de árboles pioneros bajo condiciones de estrés. Ecotrópicos 16(2): 91-127.
- SÁNCHEZ J. A., MUÑOZ B. C., MONTEJO L. 2004. Invigoration of pioneer tree seeds using prehydration treatments. Seed Sci Technol. 32: 355-363.
- SON C. L., SMITH S. E. 1988. Mycorrhizal growth response. Interactions between photon irradiance and phosphorus nutrition. New. Phytol. 108:305-314.
- TORRES-ARIAS Y. 2003. Grupos funcionales de especies forestales en base a las características de sus semillas y plántulas. Tesis de Maestría, Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana. 71 p.
- VALLADARES F., CHICO J. M., ARANDA I., BALAGUER L. DIZENGREMEL P., MANRIQUE E., DREYER E. 2002. The great seedling high-light tolerance of *Quercus robur* over *Fagus sylvatica* is linked to a greater physiological plasticity. Trees 16:395-403.
- VALLADARES F., WRIGHT S J., LASSO E., KITAJIMA K., PEARCY, R. W. 2000. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. Ecology 81: 1925-1936.
- VÁZQUEZ-YANES C., OROZCO-SEGOVIA A. 1994. Signals for seeds to sense and respond to gaps. In: Exploitation of environmental heterogeneity by plants. Caldwell A., Marlyn M., Pearcy R.W. (eds), Academic London. p. 209-235.
- VIERLING E. 1991. The roles of heat shock proteins in plants. Annu. Rev. Plant Physiology Plant Mol. Biol. 42:579-620.

- WATSON D. J. 1952. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.* 4:101-145.
- WELBAUM G. E., SHEN, Z., OLUOCH M. O., JETT, L. W. 1998. The evolution and effects of priming vegetable seed. *Seed Technology* 20:209-235.
- WHALLEY W. R., LIPIEC J., FINCH-SAVAGE W. E., COPE R. E., CLARK L. J., ROWSE H. R. 2001. Water stress can induce quiescence in newly-germinated onion (*Allium cepa L.*) seedling . *J. Expt. Bot.* 52: 1129-1133.
- WHITMORE T.C. 1989. Canopy gaps and the two major groups of forest trees. *Ecology* 70:438-536.
- YOUNG T. E., LING J., GEISLER-LEE C. T., TANGUAY R. L., CALDWELL C., GALLIE D. R. 2001. Developmental and thermal regulation of the maize heat shock protein, HSP 101. *Plant Physiol.* 127:777-791.