

# Correlación entre el tamaño de la semilla, la dormancia, la germinación y el vigor de las plántulas de *Calophyllum pinetorum*.

Jorge A. Sánchez Rendón\*, Bárbara Muñoz García\*, Yohankis Remis Cuesta\*\* y Yamir Torres Areas\*

\*Instituto de Ecología y Sistemática (IES), CITMA

\*\*Facultad de Biología, Universidad de La Habana

## RESUMEN

*Calophyllum pinetorum* Bisse, es un árbol con semillas heteromórficas que difieren considerablemente en tamaño y masa por fruto. Se determinó la correlación existente entre esta variabilidad seminal, la dormancia, la germinación y el vigor de las plántulas. Las semillas se clasificaron en dos categorías de tamaño (morfo I  $\geq 15.0$  mm y morfo II  $< 15.0$  mm), y a cada morfo se le determinaron variables morfo-nutricionales, germinativas y de vigor de las plántulas. Todas las variables difieren entre morfos, salvo el contenido en humedad de las semillas y la masa seca de las raíces. Existió una clara relación entre las diferencias en tallas y masas de las semillas, la dormancia, la respuesta germinativa y el vigor de las plántulas. En ambos morfos de semillas existe una dormancia exógena mecánica combinada con una dormancia endógena por insuficiente desarrollo morfológico del embrión. Las semillas con mayor talla y mejor estado nutricional (morfo I) germinaron más rápido y sus plántulas fueron más vigorosas, reflejado esto último en un incremento de la masa seca del tallo y las hojas. En las semillas más pequeñas (morfo II) se obtuvieron los más altos valores en la masa seminal de las cubiertas y grado de dormancia embrionaria. Se discute las posibles consecuencias ecológicas del polimorfismo seminal.

**Palabras clave:** *Calophyllum pinetorum*, continuum r-K, heteromorfismo seminal, tratamientos pregerminativos

## ABSTRACT

*Calophyllum pinetorum* Bisse, is a tree with heteromorphic seeds which differ considerably in size and mass per fruit. In this work the existent correlation between this seminal variability, dormancy, germination and seedling vigor were determined. The seeds were classified in two size categories (morph I  $\geq 15.0$  mm and morph II  $< 15.0$  mm). To each morph morph-nutritional, germinative, and seedling mass variables were determined. All the parameters differ among morphs except for the seed humidity content and root dry mass. A clear relation existed among the differences in size and mass of the seeds, germinative response and seedling vigor. In both seed morphs exist an exogenous mechanic dormancy combined with endogenous dormancy because insufficient embryo morphologic development. The seeds with bigger size and better nutritional state (morph I) germinated quicker and reached the most seedling vigor, reflected the last one in the shoot and leaf dry masses. In the smallest seeds (morph II) the highest values were obtained in the index of cover seminal mass and in the degree of embryonic dormancy. The possible ecological consequences of the seminal polymorphism are discussed.

**Key words:** *Calophyllum pinetorum*, r-K continuum, pregerminative treatments, seminal heteromorphy

## INTRODUCCIÓN

*Calophyllum pinetorum* Bisse, es una planta endémica del occidente de Cuba de la familia Clusiaceae (Bisse, 1988), que mide hasta 15m de altura y tiene un alto valor maderable (Roig, 1975). Se conoce vulgarmente como "Ocuje" y se considera por su estrategia sucesional como, una especie estabilizadora de los bosques semicaducifolios de suelos ácidos, muy típica en las cañadas de los pinares de *Pinus tropicalis* (Bisse, 1988; Herrera *et al.*, 1997).

Su fruto se presenta como una drupa verde, con una variabilidad considerable en cuanto a tamaño y masa de las semillas. Este heteromorfismo seminal podría afectar positivamente la probabilidad de germinación (Cideciyan y Malloch, 1982; Stanton, 1984) y el tamaño de las plántulas (González, 1993; Gutiérrez, 1994). También es conocido que las semillas grandes portan mayor contenido de minerales (N, P y K) y reservas de carbono que las semillas pequeñas (Milberg *et al.*, 1998); lo cual,

puede significar una mayor capacidad competitiva de las plántulas grandes bajo condiciones ecológicas desfavorables para su establecimiento (Houssard y Escarré, 1991; Jurado y Westoby, 1992).

El polimorfismo marcado de las semillas o somático, se caracteriza por la producción en una misma planta de dos o más tipos de semillas que pueden diferir totalmente en forma, tamaño y comportamiento ecofisiológico, en lo que respecta a la dispersión, dormancia y germinación. Este tipo de heteromorfismo puede ser producto de un polimorfismo floral y está condicionado genéticamente (Venable, 1985). El mismo es frecuente en especies ruderales y anuales que viven en ambientes impredecibles o sujetos a cambios abióticos continuos (Harper, 1977; Marañón, 1987). En cambio, el heteromorfismo críptico u oculto, se entiende como la forma y comportamiento variable de las semillas, que se presenta en forma gradual y más frecuente en la naturaleza y puede originarse por las diferentes condiciones de desarrollo de las semillas

que se dan dentro de un fruto, entre frutos de diferentes ramas o entre diferentes microambientes, aunque no puede descartarse la posibilidad que parte del polimorfismo críptico, esté también condicionado por factores hereditarios (Silvertown, 1984).

En nuestro país, se han reportado algunos resultados sobre las consecuencias que puede tener el polimorfismo seminal en la dispersión, la dormancia, la germinación y el establecimiento de las especies forestales (Álvarez *et al.*, 1984; Sánchez *et al.*, 1997, 1998a; Mancina y Sánchez, 2001), aspecto que debe considerarse si se pretende tener éxito en la reforestación con árboles de *C. pinetorum*, debido a que nada se conoce sobre los requerimientos germinativos de las semillas de dicho **taxon**. Los objetivos del presente estudio fueron: 1) caracterizar algunas variables morfo-nutricionales de los diferentes tipos de semillas de *C. pinetorum*, y 2) determinar si esta variabilidad seminal se correlaciona con la dormancia, la germinación y el vigor de las plántulas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Colecta y limpieza de las semillas

Las semillas de *C. pinetorum* fueron colectadas de frutos maduros de aproximadamente 20 árboles, en diciembre de 1998, en las cañadas que se encuentran entre los pinares del área conocida como "Las Coloradas", en Pinar del Río. Ésta se localiza a los 83° 55' de LW y 22° 37' de LN a 50 m.s.n.m, y presenta un régimen de lluvia entre 1400-1600 mm, con una temperatura media de 26°C. Los frutos se despulparon y se secaron en la sombra durante 72 horas. Un histograma de la frecuencia de la longitud de las semillas (Fig. 1) se utilizó para separarlas en dos categorías de tamaño: morfo I  $\geq 15.0$  mm y morfo II  $< 15.0$  mm.

### Variables morfo-nutricionales

Se enumeraron individualmente 200 semillas al azar de cada morfo, a las que se le determinaron las siguientes variables: longitud (mm), masa fresca y seca (g) y contenido de humedad inicial (%). La masa seca y contenido de humedad de las semillas se determinaron mediante el secado de las mismas durante 16 horas en una estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  según las normas del International Seed Testing Association, ISTA (1999).

A partir del índice nutricional de las semillas creado por Sánchez *et al.* (1997), se determinó la masa seminal del embrión (MSe), mediante la siguiente fórmula:

$$\text{MSe} = \frac{\text{Masa seca semilla sin cubierta (g)}}{\text{Masa seca semilla (g)}} \times 100$$

Con tal objetivo se tomaron muestras de 200 semillas por morfo, que fueron procesadas independientemente para

determinar su masa con y sin cubiertas. Las semillas de *C. pinetorum* se caracterizan por presentar un embrión masivo. Por tanto el índice MSe representa el estado nutricional de las mismas. Se calculó además, la masa seminal de las cubiertas (MSc) basándose en la fórmula anterior, que representa la masa relativa de la semilla que no fue asignada al embrión.

### Pruebas de germinación y de emergencia de las plántulas

Se empleó un diseño completamente aleatorizado, modelo factorial, para efectos fijos (Sokal y Rohlf, 1981) para conocer el efecto de la temperatura del sustrato sobre la germinación y la emergencia de ambos morfos, con diferentes tratamientos pregerminativos. Cuatro niveles de temperatura se utilizaron; una fija a 25°C y tres alternas de 25–30°C, 25–35°C y 25–40°C con un termoperíodo de 8 horas para la más alta con el fin de simular, en general, las variaciones que sufre la temperatura del suelo debido a la cobertura vegetal y la estacionalidad del clima en las condiciones naturales en que se desarrolla *C. pinetorum*. Los tratamientos pregerminativos fueron: semillas sin escarificar (control) y semillas sometidas a escarificación mecánica total, para un total de 16 combinaciones. Todas las pruebas de germinación se realizaron en condiciones de oscuridad y de acuerdo a la metodología propuesta por el ISTA (1999).

Se tomaron 10 réplicas por morfo con 15 semillas cada una por tratamiento y se colocaron en placas de Petri de 12 cm de diámetro con arena sílice y se regaron todos los días con agua destilada estéril a saturación del medio.

El conteo de la germinación se realizó diariamente durante dos meses considerando como germinadas aquellas en las que emergía la radícula. Se determinó el índice  $T_{20}$  (velocidad de germinación dada por el tiempo en que se alcanza el 20% del fenómeno en la muestra); así como, el porcentaje de semillas muertas y vivas no germinadas (dormantes). Estas últimas variables se determinaron mediante la resiembra de las semillas en 25–35°C (temperatura óptima ensayada) y completamente escarificada. Se estableció además, el porcentaje de emergencia final (primera señal visible de la plúmula) y el índice  $T_{10}$  (velocidad de emergencia dada por el tiempo en que se alcanza el 10% del fenómeno en la muestra).

La dinámica de absorción de agua de las semillas intactas (sin escarificación) de cada morfo se determinó embebiéndolas en agua destilada a 25–35°C y pesándolas en diferentes tiempos de imbibición de 24 horas, durante 5 días. Para tal propósito, se tomaron 10 réplicas de 15 semillas cada una por punto de imbibición.

### Pruebas de vigor de las plántulas

Las semillas de cada morfo se sembraron en macetas

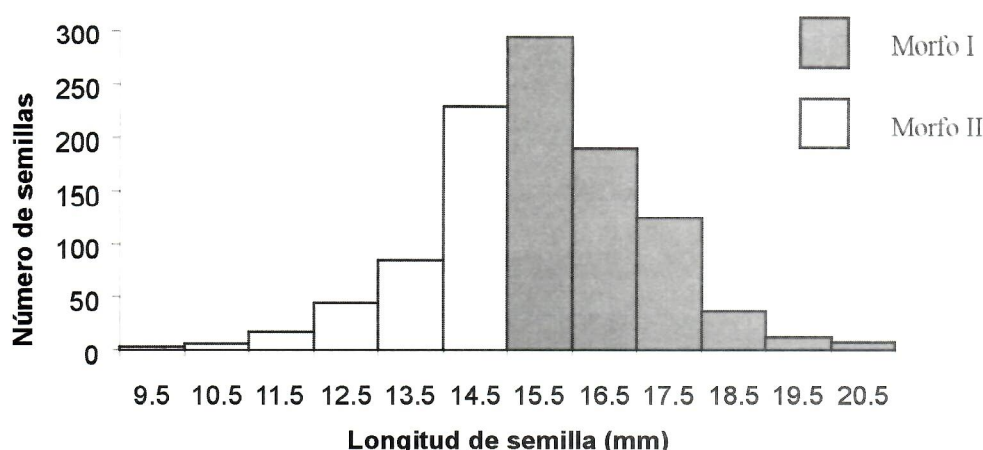


Fig. 1. Distribución de la longitud en las semillas (n = 1030) de *Calophyllum pinetorum*.

plásticas de 0.45 dm<sup>3</sup> de capacidad a una profundidad de 1cm en arena sílice. La siembra se realizó en febrero de 1999 y se desmontó transcurridos los 60 días. El experimento se llevó a cabo a cielo abierto. El sustrato se regó diariamente con el objetivo de mantener la humedad del mismo. Se utilizaron 15 macetas por morfo con una semilla por unidad.

Las variables de vigor medidas fueron: masa seca (g) de las raíces, del tallo, de las partes aéreas y total. La masa seca se determinó mediante el secado de las muestras durante 48 horas en una estufa a 80°C. Además, se determinó el área foliar (cm<sup>2</sup>) por el método de relación área:peso, que se utilizó para calcular el índice de área foliar (IA) (Waston, 1952). Altos valores del índice implican una mayor eficiencia de la productividad.

#### Análisis estadístico

La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov y la homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Bartlett. Los datos morfo-nutricionales y de vigor de las plántulas fueron comparados entre morfos mediante la prueba “t” de Student, que en el caso del contenido de humedad, la masa del embrión y la masa de cubierta se empleó la “t” para porcentajes. Las variables germinativas y de emergencia expresadas en porcentajes se transformaron en arcsen√% y se procesaron mediante un análisis de varianza de clasificación simple con modelo factorial de los tratamientos (2 X 2 X 4) (Sokal y Rohlf, 1981). No se aplicaron pruebas de comparación múltiples de medias debido a que las variables independientes que se emplearon, en las pruebas de germinación y de emergencia, representan combinaciones de tratamientos cualitativos no estructurados (tratamiento pregerminativo) con tratamientos cuantitativos (tamaño de semillas y temperatura del sustrato, respectivamente) (Petersen, 1977; Pearce, 1988).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características morfo-nutricionales de las semillas

La longitud de las semillas presentó una variabilidad de 9.2 a 25.0 mm y un valor promedio de 15.5 mm (Fig. 1). La frecuencia de distribución de esta variable no difiere significativamente de una distribución normal ( $X^2=5.30$ ,  $P>0.05$ ). La masa fresca presentó un rango de variabilidad muy amplio de 0.56 a 1.83 g y un valor promedio de 1.24 g (Fig. 2) y su frecuencia de distribución tiende a ser bimodal, aunque no difiere significativamente de un comportamiento normal ( $X^2=9.70$ ,  $P>0.05$ ). Además, las semillas del morfo I presentaron una frecuencia de aparición de 63.3% y las del morfo II de 36.6%.

Todas las variables morfo-nutricionales difieren significativamente entre los morfos (Tabla I), salvo el contenido de humedad de las semillas. Lo cual indica que las diferencias en talla y masa entre morfos, reflejan las variaciones entre semillas en cuanto a la masa del embrión con sus reservas nutricionales y la masa de la cubierta seminal. Las semillas del morfo I presentaron las mayores masas frescas, secas y del embrión con sus reservas nutricionales. En cambio, las semillas procedentes del morfo II obtuvieron los máximos valores en el índice de masa seminal de las cubiertas.

Esta variabilidad en masa de las semillas, puede estar relacionada con la dispersión de las mismas o de los frutos, debido a que teóricamente podrían recorrer distancias disímiles en comparación con lo que ocurriría con semillas o frutos de masa más constante (Janzen, 1977). Además, la variabilidad entre morfos posiblemente esté relacionada con algún mecanismo de escape a la predación (Janzen, 1969; Foster, 1986; Puchet y Vázquez-Yanes, 1987) o patógenos, debido a que *C. pinetorum* ocupa sitios altamente competitivos, como le corresponde a las especies estabilizadoras de los bosques semidecuidos de Cuba, que son las encargadas de asegurar la

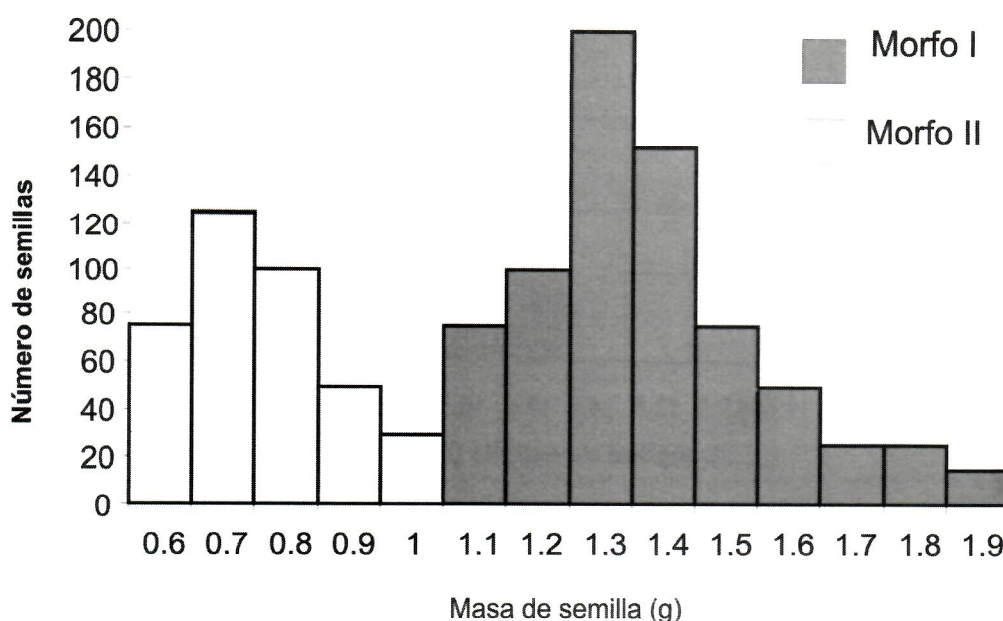


Fig. 2. Distribución de la masa fresca de las semillas ( $n = 1020$ ) de *Calophyllum pinetorum*.

TABLA I

Valores medios de los índices morfo-nutricionales en los diferentes morfos de semillas de *Calophyllum pinetorum*. ( $\pm$  error estándar de la media).

Variables	Morfo I	Morfo II	$t'$
Longitud (mm)	16.6 ( $\pm 0.02$ )	13.9 ( $\pm 0.2$ )	8.1***
Masa fresca (g)	1.5 ( $\pm 0.09$ )	0.8 ( $\pm 0.10$ )	8.9***
Masa seca (g)	1.1 ( $\pm 0.02$ )	0.6 ( $\pm 0.03$ )	9.8***
Contenido humedad (%)	20.4 ( $\pm 0.74$ )	19.5 ( $\pm 1.22$ )	0.3 N.S.
Masa embrión (%)	69.6 ( $\pm 0.66$ )	61.3 ( $\pm 1.46$ )	4.9**
Masa cubierta (%)	30.3 ( $\pm 0.66$ )	39.0 ( $\pm 1.40$ )	4.9**

1: Prueba " $t'$ " de Student.

Símbolos: N.S., no significativo, \*\*  $\leq P 0.01$ , \*\*\*  $\leq P 0.001$ .

regeneración una vez establecida la vegetación primaria (Herrera *et al.*, 1997).

Por último, no podemos descartar la posibilidad de que estas semillas morfológicamente desiguales, puedan tener un comportamiento germinativo diferente (Sánchez *et al.*, 1997, 1998a) o plántulas con recursos iniciales distintos para comenzar a crecer y por consiguiente con diferentes capacidades de supervivencia y de establecimiento en ambientes sujetos a cambios abióticos o altamente competitivos (Janzen, 1977; Foster, 1986; Houssard y Escarré, 1991; González, 1993; Gutiérrez, 1994).

#### Germinación y emergencia de las plántulas

Todas las variables germinativas y de emergencia analizadas en las semillas de *C. pinetorum*, salvo el porcentaje de semillas muertas, fueron el resultado de la interacción altamente significativa ( $P \leq 0.001$ ) que se estableció entre los tratamientos pregerminativos, las

temperaturas del sustrato y los diferentes morfos de semillas (Tabla II). Resultados similares se obtuvieron por Khan y Ungar (1984), Corkidi *et al.* (1991), Sánchez *et al.* (1997, 1998a) en especies con heteromorfismo seminal, que han sido sometidas a diferentes tratamientos pregerminativos y/o temperaturas del sustrato.

Los mayores porcentajes de germinación final se obtuvieron en ambos morfos a 25-35°C, tanto para las semillas escarificadas como para las no escarificadas (Tabla III). Sin embargo, el efecto positivo de la temperatura sobre la germinación es mayor en las semillas no escarificadas o control que en las semillas escarificadas. Al parecer, la eliminación de la dormancia exógena mecánica (Quinlivan, 1965; Nikolaeva, 1982) que presentan las semillas recién colectadas de *C. pinetorum* no sólo se favorece con la escarificación mecánica total de la semillas sino también por el incremento de la temperatura del sustrato, aunque a 25-40°C el porcentaje de germinación final disminuyó.

**TABLA II**

Análisis de varianza de las variables germinativas y de emergencia de *Calophyllum pinetorum*.

Fuente de Variación	Valores de F y significación					
	% GF	VG	% SVNG	% SM	% EF	VE
Tratamiento pregerminativo ( A )	171.9***	124.6***	----1	120.6***	147.6***	21.4***
Temperatura ( B )	23.7***	24.5***	3.2 N.S.	57.0***	9.0***	24.5***
Morfo ( C )	314.3***	103.4***	6.8**	244.1***	111.4***	92.3***
( A x B )	5.0***	18.3***	----	49.8***	3.8*	11.2***
( A x C )	189.9***	130.8***	----	113.0***	3.9*	8.3***
( B x C )	4.6**	9.1***	9.0***	1.5N.S.	13.1***	15.2***
( A x B x C )	6.2**	8.4***	----	0.9N.S.	8.0***	8.2***

<sup>1</sup>Datos no disponibles.

Símbolos: N.S., no significativo, \*  $P \leq 0.05$ , \*\*  $P \leq 0.01$ , \*\*\*  $P \leq 0.001$ . % GF: porcentaje de germinación final; VG: velocidad de germinación; % SVNG: porcentaje de semillas vivas no germinadas; % SM: porcentaje de semillas muertas; % EF: porcentaje de emergencia final; VE: velocidad de emergencia.

Este tipo de dormancia permite la entrada de agua a las semillas (Fig. 3), pero impide el crecimiento del embrión por limitaciones mecánicas (Nikolaeva, 1982; Nikolaeva *et al.*, 1985). Efecto que es aún mayor en las semillas del morfo II, que presentaron altos valores de la masa seminal de las cubiertas (Tabla III). Ambos morfos tienen similares patrones de absorción de agua y la fase I se completó a las 24 horas. La fase II fue un largo periodo de absorción de agua y está asociado fundamentalmente con la mayoría de los eventos metabólicos relacionados con la germinación (Bewley, 1997). La última etapa de la curva de imbibición (fase III) se asocia con la emergencia de la radícula (Bewley y Black, 1994; Sánchez *et al.*, 2001), que en nuestras condiciones de hidratación de las semillas no se alcanzó.

Por otra parte, en las semillas escarificadas de ambos morfos no se obtuvieron diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) para el porcentaje de germinación final entre las temperaturas ensayadas, excepto a 25°C. Esto demuestra que la estratificación en caliente también, resultó un tratamiento adecuado para eliminar cualquier tipo de dormancia morfológica que pudiera existir en las semillas recién colectadas del morfo II. Resultados similares se obtuvieron en *Tectona grandis* (Peña *et al.*, 1996), *Roystonea regia* (Muñoz *et al.*, 1992) y en *Mastichodendron foetidissimum* (Sánchez *et al.*, 1997), lo que evidencia una vez más la necesidad de dicho tratamiento para algunas especies tropicales como vía para eliminar dormancia endógena en las semillas (Nikolaeva *et al.*, 1985). Según Roberts (1963), la velocidad del proceso de postmaduración es termodependiente.

Los mayores porcentajes de germinación final en las semillas no escarificadas se registraron en las semillas del morfo I, que a su vez presentaron la mayor talla y un mejor estado nutricional (Tabla I y III), independientemente de las temperaturas ensayadas. De esta manera, se puede afirmar que en *C. pinetorum* existe una diversidad de

comportamiento germinativo asociado al heteromorfismo morfológico de las semillas.

En condiciones naturales, las semillas de *C. pinetorum* llegan al suelo al inicio de la estación desfavorable (época de frío o de sequía) y por consiguiente, la dormancia combinada que presentan (dormancia exógena mecánica e insuficiente desarrollo morfológico del embrión) les permitirá sobrevivir hasta la próxima estación favorable, cuando estarán completamente maduras o listas para germinar. La germinación deberá comenzar por las semillas del morfo I, que al estar en mejor estado nutricional y menos dormantes podrán asegurar el establecimiento de la especie en condiciones ecológicas adversas. En cambio, las semillas del morfo II deberán garantizar por un periodo más prolongado la regeneración. Al parecer, debido a la mayor biomasa seminal de las cubiertas y su grado de dormancia embrionaria.

La velocidad de germinación siguió un comportamiento muy similar al porcentaje de germinación final (Tabla III), es decir, el menor tiempo para alcanzar el 20% de la germinación en la muestra se logró con las semillas del morfo I. Cuando se realizó la escarificación este fenómeno fue muy similar en ambos morfos, independientemente de la temperatura del sustrato ensayada.

El porcentaje de semillas vivas no germinadas sólo se registró en las semillas no escarificadas o control. Esta variable dependió significativamente ( $P \leq 0.001$ ) de la interacción que se estableció entre los morfos y las temperaturas del sustrato (Tabla II). Los mayores porcentajes de semillas vivas no germinadas se obtuvieron en los propágulos procedentes del morfo II a temperatura fija de 25°C y alternas de 25-30°C y 25-35°C (Tabla III). La temperatura de 25-40°C afectó considerablemente la viabilidad de las semillas menos vigorosas del lote para ambos morfos, debido posiblemente al efecto combinado de esta temperatura con la entrada de agua a las semillas,

TABLA III

Efectos de los tratamientos pregerminativos y la temperaturas del sustrato sobre la germinación de los diferentes morfos de semillas de *Calophyllum pinetorum*. ( $\pm$ ) error estándar de la media.

Variables/morfos	Tratamientos	Temperatura de siembra (°C)			
		25	25-30	25-35	25-40
Germinación final (%) Morfo I	T1	59.1 ( $\pm$ 5.2)	60.8 ( $\pm$ 5.2)	71.0 ( $\pm$ 3.6)	55.8 ( $\pm$ 1.1)
	T2	94.0 ( $\pm$ 1.2)	96.0 ( $\pm$ 1.3)	98.4 ( $\pm$ 0.3)	96.3 ( $\pm$ 0.3)
Morfo II	T1	20.7 ( $\pm$ 1.2)	29.0 ( $\pm$ 1.5)	38.0 ( $\pm$ 1.0)	30.1 ( $\pm$ 1.2)
	T2	76.6 ( $\pm$ 1.0)	91.5 ( $\pm$ 2.0)	98.0 ( $\pm$ 1.0)	94.2 ( $\pm$ 1.6)
Velocidad de germinación (días) Morfo I	T1	21.1 ( $\pm$ 0.6)	19.7 ( $\pm$ 0.3)	16.5 ( $\pm$ 1.1)	19.6 ( $\pm$ 0.4)
	T2	5.0 ( $\pm$ 0.3)	4.0 ( $\pm$ 0.4)	1.2 ( $\pm$ 0.1)	3.0 ( $\pm$ 0.2)
Morfo II	T1	48.8 ( $\pm$ 1.1)	34.7 ( $\pm$ 1.5)	18.9 ( $\pm$ 0.5)	36.2 ( $\pm$ 3.8)
	T2	8.6 ( $\pm$ 0.3)	2.6 ( $\pm$ 0.2)	1.8 ( $\pm$ 0.1)	2.0 ( $\pm$ 0.2)
Semilla viva no germinada (%) Morfo I	T1	18.9 ( $\pm$ 2.8)	15.5 ( $\pm$ 2.9)	19.1 ( $\pm$ 1.9)	5.8 ( $\pm$ 0.3)
	T2	— <sup>1</sup>	—	—	—
Morfo II	T1	47.3 ( $\pm$ 3.1)	37.0 ( $\pm$ 4.3)	30.1 ( $\pm$ 0.8)	5.6 ( $\pm$ 0.3)
	T2	—	—	—	—
Semilla muerta (%) Morfo I	T1	22.0 ( $\pm$ 1.6)	23.7 ( $\pm$ 2.6)	10.0 ( $\pm$ 1.0)	38.4 ( $\pm$ 1.0)
	T2	6.0 ( $\pm$ 1.2)	4.0 ( $\pm$ 0.3)	1.6 ( $\pm$ 0.3)	3.6 ( $\pm$ 0.2)
Morfo II	T1	32.0 ( $\pm$ 3.1)	34.0 ( $\pm$ 2.7)	31.9 ( $\pm$ 1.3)	63.8 ( $\pm$ 1.3)
	T2	23.3 ( $\pm$ 2.0)	9.4 ( $\pm$ 2.1)	2.0 ( $\pm$ 0.2)	5.8 ( $\pm$ 1.0)
Emergencia final (%) Morfo I	T1	32.8 ( $\pm$ 0.9)	36.3 ( $\pm$ 1.0)	48.8 ( $\pm$ 1.5)	40.1 ( $\pm$ 1.1)
	T2	82.5 ( $\pm$ 1.0)	86.9 ( $\pm$ 1.2)	93.1 ( $\pm$ 2.4)	82.1 ( $\pm$ 1.6)
Morfo II	T1	10.5 ( $\pm$ 1.7)	18.7 ( $\pm$ 0.4)	32.7 ( $\pm$ 1.8)	23.3 ( $\pm$ 1.4)
	T2	52.5 ( $\pm$ 4.5)	86.4 ( $\pm$ 4.3)	81.1 ( $\pm$ 2.6)	80.7 ( $\pm$ 2.4)
Velocidad de emergencia (días) Morfo I	T1	28.0 ( $\pm$ 0.4)	25.2 ( $\pm$ 0.4)	25.0 ( $\pm$ 0.5)	26.6 ( $\pm$ 0.8)
	T2	10.8 ( $\pm$ 0.3)	8.6 ( $\pm$ 0.2)	2.8 ( $\pm$ 0.1)	5.0 ( $\pm$ 0.1)
Morfo II	T1	53.1 ( $\pm$ 0.3)	41.7 ( $\pm$ 4.3)	25.0 ( $\pm$ 1.5)	40.8 ( $\pm$ 0.5)
	T2	11.0 ( $\pm$ 0.3)	9.0 ( $\pm$ 0.1)	5.0 ( $\pm$ 0.1)	7.8 ( $\pm$ 0.8)

<sup>1</sup> Datos no disponibles

T1: semillas no escarificadas o control y T2: semillas escarificadas.

que acelera la respiración e impide la continuación del proceso de postmaduración (Bewley y Black, 1994). Según Nikolaeva (1982) y Nikolaeva *et al.* (1985) las especies que presentan el tipo de dormancia combinada que se observa en las semillas de *C. pinetorum* requieren durante la postmaduración, temperaturas relativamente altas, aireación suficiente y bajos contenidos de agua, aspectos que quizás se afectaron cuando se sembraron a 25-40°C.

El porcentaje de emergencia final y la velocidad de emergencia siguieron un comportamiento muy similar al porcentaje de germinación final y la velocidad de germinación (Tabla III). Sin embargo, estos parámetros

fueron más sensibles al incremento de la temperatura del sustrato que los procesos germinativos antes mencionados. Diversos autores (El-Sharkawi y Springuel, 1977; Orta *et al.*, 1983; Sánchez *et al.*, 1998b) plantearon que bajo condiciones de estrés hídrico y calórico la emergencia de la plúmula es la fase más crítica del establecimiento, debido al efecto deletéreo de altas temperaturas sobre la nueva plántula y la gran cantidad de agua que necesitan éstas para emerger o crecer (Bewley y Black, 1978, 1994).

#### Vigor de las plántulas

EL tamaño de la semilla tuvo un marcado efecto positivo sobre el vigor de las plantas (Tabla IV y Fig. 4)) de forma

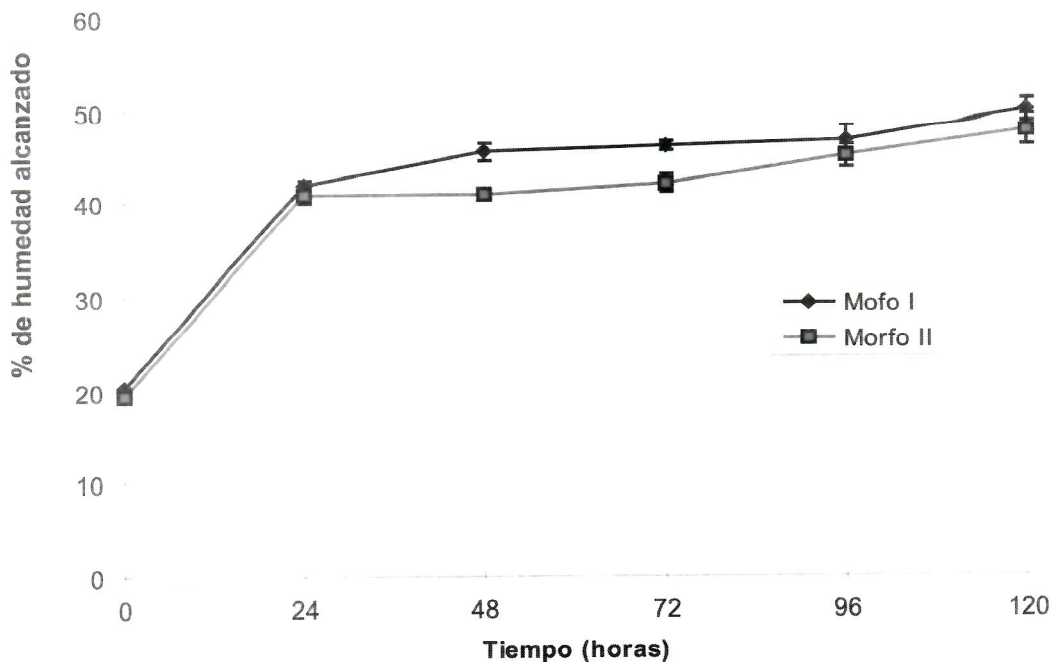


Fig. 3. Curvas de absorción de agua de las semillas de *Calophyllum pinetorum*. Las barras verticales muestran el error estándar de las medias.

que las plántulas mayores provinieron de las semillas de mayor talla y un mejor estado nutricional (Morfo I). La masa seca del tallo y total de las plantas fueron las variables que mayores diferencias significativas ( $P \leq 0.001$ ) presentaron entre morfos. Además, las plantas procedentes del morfo I obtuvieron los máximos valores de la masa seca de las partes aéreas y del índice foliar, lo cual evidencia una mayor eficiencia de las mismas.

Por último, la masa seca de las raíces no difiere significativamente ( $P > 0.05$ ) entre morfos, al parecer, este resultado podría deberse a que se mantuvo constante el nivel de humedad del sustrato, y por consiguiente, este hecho no permitió la expresión de una "estrategia radicular" diferente en los morfos. Sin embargo, en condiciones naturales las poblaciones de *C. pinetorum* habitan en suelos ácidos, muy secos y pobres (Bisse, 1974, 1988; López, 1985); por tanto, el sistema radicular deberá jugar un papel fundamental en la obtención de agua y nutrientes, y al mismo tiempo estas condiciones ambientales podrían favorecer un desarrollo diferente de este sistema entre los morfos.

En varias especies forestales se ha comprobado que el tamaño de las semillas tiene un efecto positivo sobre el vigor de las plantas y la capacidad competitiva en situaciones de alta densidad de plántulas (Harper *et al.*, 1970; Foster, 1986; Housard y Escarré, 1991; González, 1993) donde se produciría gran mortalidad. Por

consiguiente, la germinación tardía que presentan las semillas del morfo II de *C. pinetorum* podrían permitirle a la especie extender la germinación en el tiempo y el espacio y de esta manera, disminuiría la competencia entre plántulas a nivel intraespecífico y al mismo tiempo escaparían del ataque de los patógenos y predadores durante la estación desfavorable (época de sequía). Sin embargo, se necesitan experimentos de campo que apoyen estas hipótesis, ya que podrían estar implicados otros factores limitantes en la germinación, vigor y mortalidad de las plántulas como es el contenido de humedad y la iluminación que llega al suelo (Foster, 1986; Garwood, 1990).

Hasta donde conocemos, nunca se ha reportado la existencia del polimorfismo seminal en otras especies pertenecientes al género *Calophyllum*, con más de 100 especies típicamente tropicales, la mayoría de las cuales viven en Asia y Oceanía (Stevens, 1976). En nuestro país esta variabilidad morfológica y germinativa de las semillas se ha observado dentro y entre poblaciones de *C. inophyllum* (Sánchez y Muñoz, 1999) y podría existir también en otras especies del género presentes en Cuba, si tenemos en cuenta las características colonizadoras que tiene nuestra vegetación (López, 1998).

Igualmente, el heteromorfismo seminal que se observa en *C. pinetorum* demuestra la presencia de la selección *r* y *K* dentro de esta especie (MacArthur, 1962). La

TABLA IV

Vigor de las plantas de *Calophyllum pinetorum*, según el morfo de semilla del que procede. ( $\pm$ ) error estándar de la media.

Tipo de semilla	Índice de área foliar	Tallo	Masa Seca (g)		
			Raíces	Parte aérea	Total
Morfo I	0.84 ( $\pm$ 0.03)	0.14 ( $\pm$ 0.002)	0.11 ( $\pm$ 0.003)	0.26 ( $\pm$ 0.001)	0.52 ( $\pm$ 0.01)
Morfo II	0.51 ( $\pm$ 0.02)	0.06 ( $\pm$ 0.002)	0.09 ( $\pm$ 0.003)	0.14 ( $\pm$ 0.01)	0.33 ( $\pm$ 0.02)
$f^1$	3.14 **	5.51 ***	1.13 N.S.	4.53 **	8.85 ***

<sup>1</sup>Prueba "f" de Student.

Símbolo: N.S., no significativo, \*\*P  $\leq$  0.01, \*\*\*P  $\leq$  0.001.

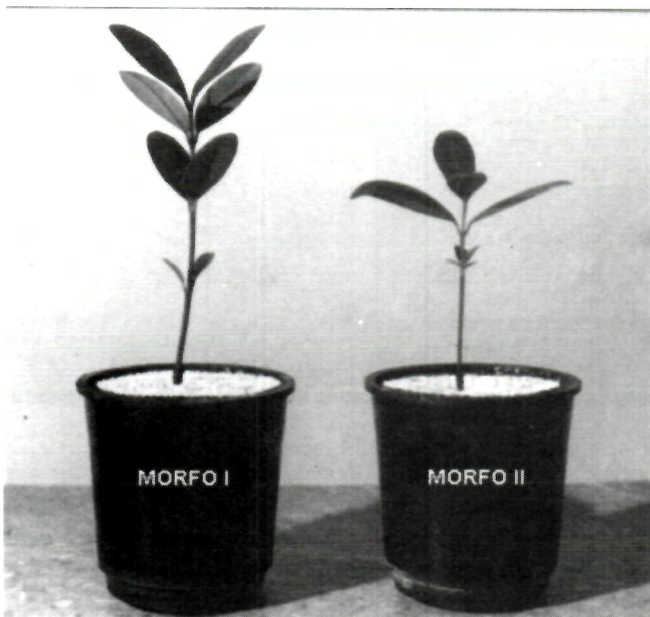


Fig. 4. Plántulas de *Calophyllum pinetorum* procedentes de cada morfo de la semilla.

existencia de un "continuum r-K" no sólo se reconoce a nivel individual o intraespecífico en las plantas, sino también en los grupos ecológicos o estrategias sucesionales que ellas constituyen (Bazzaz, 1996). En nuestro país, la presencia del continuum ha sido propuesta por Herrera *et al.* (1997) para las diferentes fases sucesionales de los bosques seco-salinos y húmedos, con base fundamentalmente en caracteres reproductivos y fisiológicos de las plantas. Posteriormente, Muñoz (1998) y Muñoz y Sánchez (2000) proponen también, la existencia del "continuum r-K" en árboles pioneros teniendo en cuenta solamente parámetros morfológicos, nutricionales y fisiológicos de las semillas.

En condiciones naturales *C. pinetorum* ocupa sitios extremos (suelos secos y pobres en nutrientes) por consiguiente la selección de genotipos especialistas en esta especie, con menor plasticidad fenotípica o germinativa, le permitirá establecerse en ambientes desfavorables (Sultan, 1987; Lortie y Aarsen, 1996).

Las semillas del morfo I al presentar mejor estado nutricional y menor grado de dormancia estarán mejor adaptadas para germinar y crecer en sitios altamente competitivos; por tanto, podrían representar la selección K. En cambio, las semillas del morfo II por su menor tamaño seminal y germinación más tardía podrían representar la selección r, que aseguraría el establecimiento de la especie cuando las condiciones ambientales sean más favorables. Sin embargo, la frecuencia de aparición de las semillas del morfo II no apoya del todo esta hipótesis, debido a que las especies que representan la selección r tienen como estrategia fundamental producir gran cantidad de semillas para asegurar su reproducción. No obstante, de acuerdo a nuestros resultados se evidencia que el polimorfismo seminal que presenta *C. pinetorum* está condicionado fundamentalmente para asegurar un gradiente germinativo y de establecimiento a través de un gradiente competitivo y ambiental.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Dr. Luis Balaguer, de la Universidad Complutense de Madrid, España, por sus consejos y revisión del manuscrito. Asimismo agradecemos a los revisores anónimos por sus sugerencias en la confección final del documento.

#### BIBLIOGRAFÍA

Álvarez A, Zayas A, San Marti J. 1984. Las semillas de *Hibiscus elatus*. (II). Variabilidad del peso de la semilla. Boletín Técnico Forestal. 1:21-35.

Bazzaz FA. 1996. Plants in changing environments: linking physiological, population, and community. Cambridge University Press, Cambridge, 320 p.

Bewley JD. 1997. Seed germination and dormancy. Plant Cell. 9:1055-1066.

\_\_\_\_\_, Black M. 1978. Physiology and biochemistry of seeds in relation to germination. Vol. 1: development, germination and growth. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 306 p.

- \_\_\_\_\_. 1994. Seed: physiology of development and germination. 2 ed. Plenum Press, New York, 445 p.
- Bisse J. 1974. Nuevos árboles de la flora de Cuba. Feddes Report. 85(9-10):587-608.
- \_\_\_\_\_. 1988. Árboles de Cuba. Editorial Científico-Técnico, La Habana, 348 p.
- Cideciyan M A, Malloch A J. 1982. Effects of size seed on the germination, growth and competitive ability of *Rumex crispus* and *Rumex obtusifolius*. J. Ecol. 70:227-232.
- Corkidi L, Rincon E, Vázquez-Yanes C. 1991. Effects of light and temperature on the germination of heteromorphic achenes of *Bidens odorata* (Astereaceae). Can. J. Bot. 69:574-579
- El-Sharkawi H M, Springuel I. 1977. Germination of some crop plant seed under reduced water potential. Seed Sci. Technol. 5:677-688.
- Foster SA. 1986. On the adaptive value of large seeds for tropical moist forest trees: A review and synthesis. Bot. Rev. 52:260-299.
- Garwood NC. 1990. Ciclos estacionales de germinación de semillas en un bosque semicaducifolio tropical. En: Leigh E G, Stanley A, Windsor D. Ecología de un bosque tropical. Ciclos estacionarios y cambios a largo plazo. Colombia. pp. 243-255.
- González JE. 1993. Effects of size seed on the germination and seedling vigor of *Virola koschnyi* Warb. Forest Ecology and Management. 57:275-281.
- Gutiérrez D. 1994. Efecto del tratamiento térmico y del tamaño de la semilla sobre la germinación de *Ulex europaeus* y *U. Gallir*. Studia Ecológica. X-XL: 241-246.
- Harper JL. 1977. Population biology of plant. Academic Press, London, 892 p.
- \_\_\_\_\_, Lovell P H, Moore K G. 1970. The shapes and size of seeds. Ann. Rev. Ecol. Syst. 1:327-356.
- Herrera RA, Ulloa DR, Valdés-Lafont O, Priego AG, Valdés AR. 1997. Ecotechnologies for the sustainable management of tropical forest diversity. Nature & Resources. 33:2-17.
- Houssard C, Escarré J. 1991. The effect of seed weight on growth and competitive ability of *Rumex acetosella* from two successional old fields. Oecologia. 86: 236-242.
- International Seed Testing Association, ISTA. 1999. International rules for seed testing. Seed Sci. Technol., 27 Supplement, 353 p.
- Janzen DH. 1969. Seed-eaters versus seed size, number, toxicity and dispersal. Evolution. 23:1-27.
- \_\_\_\_\_. 1977. Variation in seed size within a crop of a Costa Rica *Macuna andreana* (Leguminosae). Amer. J. Bot. 64:347-349.
- Jurado E, Westoby M. 1992. Seedling growth in relation to seed size among species of arid Australia. J. Ecol. 80: 407-416.
- Khan MA, Ungar IA. 1984. The effect of salinity and temperature on the germination of polymorphic seeds and growth of *Atriplex triangularis* Willd. Amr. J. Bot. 71:481-489.
- López A. 1985. Variabilidad morfológica de las hojas en las especies cubanas del género *Calophyllum* (Clusiaceae). Acta Botánica Cubana. 31:1-27.
- \_\_\_\_\_. 1998. Origen probable de la flora cubana. En: Halfter G. La diversidad biológica de Iberoamérica II. Acta Zoológica Mexicana, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, México. pp. 83-108.
- Lortie C, Aarsen LW. 1996. The specialization hypothesis for phenotypic plasticity in plants. Int. J. Plant Sci. 157: 484-487.
- MacArthur RH. 1962. Some generalized theorems of natural selection. Proceedings of the National academy of Science (U.S.A). 48:1893-1897.
- Mancina CA, Sánchez JA. 2001. Efecto de la actividad trófica de *Artibeus jamaicensis* (Mammalia: Chiroptera) sobre la dispersión de *Andira inermis* (Leguminosae). Revista Biología, 15:81-85.
- Marañón T. 1987. Ecología del polimorfismo somático de semillas y la sinaptospermia en *Aegilops deglecta* Req. Exbertol. Anales Jardín Botánico de Madrid. 44:97-107.
- Milberg P, Pérez-Fernández A, Lamont BB. 1998. Seedling growth response to added nutrients depends on seed size in three woody genera. J. Ecol. 86:624-632.
- Muñoz B. 1998. Patrones morfológicos y fisiológicos en semillas de algunas especies arbóreas pioneras. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana, Cuba, 62 p.
- \_\_\_\_\_, Orta R, Espinosa, I 1992. Germinación de

semillas de *Cecropia peltata* L., árbol nodriza para la reforestación sucesional. *Cien. Biol.* 24:34-43.

\_\_\_\_\_, Sánchez JA. 2000. Patrones seminales en especies arbóreas pioneras y su relación con el continuum *r-K*. *Acta Botánica Cuba* (imprensa).

Nikolaeva MG. 1982. Dormancia de las semillas. En: Prokofiev A A. *Fisiología de las semillas*. Cap. IV. Nauka, Moscú, 318 p.

\_\_\_\_\_, Rasumova MV, Gladkova VN. 1985. *Manual de técnicas pregerminativas para semillas dormantes*. Nauka, Moscú, 348 p.

Pearce SC. 1988. Analysis of data from agricultural experiments. *Trop. Agric.* 65: 1-5.

Peña A, Montalvo J, Sordo L, Castillo E. 1996. La escarificación en caliente, una solución para la germinación de *Tectona grandis*. *Rev. Baracoa*. (imprensa).

Petersen RG. 1977. Use and misuse of multiple comparisons procedures. *Agron. J.* 69: 205-208.

Puchet CE, Vázquez-Yanes C. 1987. Heteromorfismo críptico en las semillas recalcitrantes de tres especies arbóreas de la selva tropical húmeda de Veracruz, México. *Phytologia*. 62:100-106.

Quinlivan BJ. 1965. The influence of the growing season and the following dry season on the hard-seedness of subterranean clover in different environments. *Ast. J. Agric. Res.* 16: 277-291.

Roberts EH. 1963. An investigation of inter-varietal differences in dormancy and viability of rice seeds. *Ann. Bot.* 27:365-369.

Roig J T. 1975. *Diccionario botánico de nombres vulgares cubanos*. 3ed. Tomo II. Editorial Pueblo y Educación, La Habana. pp. 607-1142.

Sánchez JA, Muñoz B, Orta R, Calvo E, Herrera R. 1997. Correlación entre el heteromorfismo somático y la respuesta germinativa de *Mastichodendron foetidissimum* (Jacq.) Cronq. *Acta Botánica Mexicana*. 38:1-7.

\_\_\_\_\_, Calvo E, Muñoz B, Orta R. 1998 *a*.

Comportamiento germinativo de *Disopyros philippensis* (Desr.), Guercke, ante diferentes niveles de temperatura del sustrato y de almacenamiento. *Acta Botánica Cubana*. 115:1:8.

\_\_\_\_\_, Blanco T M, Muñoz B. 1998 *b*. Inducción de tolerancia al déficit hídrico en *Trichospermum grewiifolium*. *Acta Botánica Cubana*. 118:1-16.

\_\_\_\_\_, Muñoz B. 1999. Variación en el tamaño de la semilla, la germinación y el vigor de las plántulas de *Calophyllum inophyllum*. Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana. (inédito).

\_\_\_\_\_, Muñoz B, Fresneda J. 2001. Combined effects of hardening hydration-dehydration and heat shock treatments on the germination of tomato, pepper and cucumber. *Seed Sci. Technol.* 29: 691-697.

Silvertown JW. 1984. Phenotypic variety in seed germination behavior: The ontogeny and evolution of somatic polymorphism in seeds. *Am. Nat.* 124:1-16.

Sokal RR, Rohlf J. 1981. *Biometry. The principles and practice of statistics in biological research*. 2ed. W. H. Freeman, New York. 859 p.

Stanton ML. 1984. Seed variation in wild cadish: effect of seed size on components of seedling and adult fitness. *Ecology*. 65:1105-1112.

Stevens PF. 1976. A revision of the Old World species of *Calophyllum* (Gutiferae). *J. Arnold. Arboretum*. 57:167-184.

Sultan SE. 1987. Evolutionary implications of phenotypic plasticity in plants. *Evol. Biol.* 21: 127-178.

Venable DL. 1985. The evolutionary ecology of seeds heteromorphism. *Am. Nat.* 126:577-595.

Waston DJ. 1952. The physiological basic of variation in yield. *Adv. Agron.* 4:101-195.

**Recibido:** 27 de octubre del 2000.

**Direcc. de los autores:** \*Instituto de Ecología y Sistemática (IES), Carretera de Varona Km 3 1/2, Capdevila, Boyeros, Ciudad de La Habana, Cuba. \*\* Facultad de Biología, Universidad de la Habana. Calle 25 # 455 e/ J e l Vedado. Plaza 10400. Ciudad de la Habana, Cuba.