

Efecto de la procedencia sobre rasgos seminales y requerimientos germinativos de *Cedrela odorata* (Meliaceae)

Effect of the origin on seminal traits and germination requirements of *Cedrela odorata* (Meliaceae)

Mayté Pernús Álvarez^{1,*} y Jorge A. Sánchez Rendón¹

RESUMEN

Se estudiaron características morfofisiológicas, requerimientos germinativos y dormancia en semillas frescas de *Cedrela odorata* provenientes de dos sitios de vegetación secundaria y diferentes grados de antropización en La Habana, Cuba. La germinación se evaluó en condiciones de luz y oscuridad a temperatura fija de 25°C y alternas de 25°C/30°C, 25°C/35°C, 25°C/40°C y 25°C/45°C. Las semillas colectadas en el sitio menos antropizado resultaron ser las de mayor longitud y contenido de humedad. No se encontró dormancia seminal en estos lotes y la luz no afectó la germinación bajo condiciones óptimas. La procedencia y la temperatura del sustrato provocaron diferencias entre los rasgos germinativos evaluados. En el termoperíodo de 25°C/30°C, que constituyó el óptimo para la germinación, las semillas presentaron un patrón trifásico de absorción de agua, siendo diferente entre procedencias. Las semillas del sitio más antropizado fueron más termotolerantes. Se discuten posibles causas de estas diferencias, así como su implicación en el establecimiento de las plántulas.

Palabras claves: semillas, plasticidad fenotípica, árbol pionero

ABSTRACT

Morphophysiological characteristics, germination requirements and dormancy of *Cedrela odorata* fresh seeds, originated from two localities with a different level of anthropization, were studied. Germination was evaluated in light and darkness conditions, at a constant temperature of 25°C and alternate of 25°C/30°C, 25°C/35°C, 25°C/40°C, and 25°C/45°C. The seeds collected in the less anthropised site resulted being the ones with a higher length and humidity content. No seed dormancy was found in these lots and the light does not affect germination under optimum conditions. The origin and the substrate temperature marked differences between the germination traits evaluated. In the 25°C/30°C thermo-period, which was the optimum for germination, the seeds of both lots presented a triphasic pattern of water absorption, being different between locations. The seeds from the most anthropised site were more tolerant to the increasing of the temperature. In this paper, the possible causes of these differences and their involvement in the establishment of the future seedlings are discussed.

Keywords: seeds, phenotypic plasticity, pioneer tree

Recibido: abril 2016 **Aceptado:** agosto 2016

Publicado online 2 de noviembre de 2016 y será incluido en el volumen 37. ISSN 2410-5546 RNPS 2372 (DIGITAL) - ISSN 0253-5696 RNPS 0060 (IMPRESA)

INTRODUCCIÓN

En muchas especies de plantas, las semillas varían en su capacidad germinativa dentro y entre poblaciones, así como dentro y entre individuos (Guterman 2000). Varios factores pueden influir sobre las plantas madres durante el desarrollo de las semillas y resultar en modificaciones de las características germinativas (Baskin & Baskin 2014). Algunas de estas variaciones pueden ser de origen genético; pero gran parte de ellas son fenotípicas, es decir, causadas por las condiciones locales en las que maduraron las semillas (Guterman 2000). En este sentido, la plasticidad fenotípica es considerada uno de los principales medios por los cuales las plantas pueden hacer frente al factor de variabilidad ambiental (Gratini 2014).

Las diversas condiciones ambientales pueden causar cambios tanto en los porcentajes de germinación y tasas de crecimiento de las plantas, como en las características

morfofisiológicas de las semillas (Baskin & Baskin 2014). Conocer esta variación tiene gran importancia para el almacenamiento de las semillas y su empleo en proyectos de restauración ecológica (Sánchez & *al.* 2011, 2015b). Rasgos como el tamaño o masa seminal, el contenido de humedad, los requerimientos germinativos y clases de dormancia, han sido empleados en la definición de los grupos de funcionamiento ecológico, o bien para predecir la conducta de almacenamiento de las semillas y el funcionamiento de las plantas en un ambiente cada vez más incierto (Hong & Ellis 1996, Sánchez & *al.* 2009).

El cedro (*Cedrela odorata* L.) es un árbol caducifolio de la familia *Meliaceae* con distribución Neotropical. Constituye una especie de alto valor maderable, muy empleada en medicina tradicional debido a las propiedades astringentes, antisépticas, tónicas y febrífugas del extracto acuoso que se obtiene de la raíz y la corteza; con potencial para reforestación en zonas degradadas y muchas veces asociada a sistemas agroforestales (Niembro & *al.* 2010). Debido a que presenta una distribución geográfica amplia, se requiere estudiar el comportamiento de la producción

¹Instituto de Ecología y Sistemática (IES), CITMA, Carretera de Varona No. 11835 e/ Oriente y Lindero, Reparto Parajón, Boyeros, La Habana, Cuba CP 11900. *Autor para correspondencia (e-mail: mayte@ecologia.cu).

de semillas en diversas localidades y determinar la magnitud y tipo de variación que acompaña a este proceso al nivel de procedencias (Niembro 1995). Hasta el momento, en Cuba nunca se ha evaluado cómo la procedencia podría afectar variables estructurales y germinativas de las semillas del cedro, aspecto que sí se conoce para otras especies maderables como la majagua (*Talipariti elatum* (Sw.) Fryxell) (Montejo & al. 2005).

Por su estrategia sucesional, en bosques húmedos y secos cubanos, el cedro se considera una especie pionera tardía que puede germinar y establecerse en ambientes semiabiertos o sombreados (Herrera & al. 1997). Sin embargo, no se conocen los requerimientos germinativos con relación a la disponibilidad de luz y de temperatura del sustrato y tampoco se ha informado dormancia seminal para las semillas empleadas por las empresas forestales cubanas (Anónimo 1983).

El valor promedio de germinación final alcanzado por las semillas cubanas no sobrepasa el 70% (Anónimo 1983). Por tanto, la fracción de semillas que no germina (ej.: 30%) podría tener dormancia fisiológica, que es la clase de dormancia que presenta la familia *Meliaceae* y que además ha sido inferida para dicha especie, a partir de información sobre el tiempo requerido para el inicio de la germinación y por características de las semillas (Baskin & Baskin 2014). Sin embargo, no se informó dormancia para semillas de cedro provenientes de un bosque tropical húmedo de Panamá (Sautu & al. 2007), aunque es conocido que en una misma especie se pueden presentar semillas dormantes y sin dormancia, incluso semillas de un mismo lote pueden presentar diferentes grados de dormancia (Baskin & Baskin 2004).

Debido a la importancia de la especie y al valor que pudieran tener los estudios de procedencia de las semillas en el establecimiento de las futuras plántulas en proyectos de restauración ecológica, el objetivo del presente trabajo fue determinar cómo la procedencia seminal puede afectar características morfofisiológicas y germinativas de semillas frescas de *Cedrela odorata*, así como verificar la presencia o no de semillas dormantes. Se parte de la hipótesis de que la germinación de estos lotes debe ocurrir en un amplio rango de temperaturas y bajo condiciones de luz y oscuridad, como sucede en otros árboles pioneros tardíos. Además, no se espera encontrar dormancia seminal.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitios de colecta y material vegetal

La colecta se realizó en febrero de 2014 en dos localidades de La Habana, Cuba, con diferentes grados de perturbación antrópica. La localidad menos antropizada, corresponde a las áreas suburbanas del Instituto de Ecología y Sistemática (23° 01'N, 82° 21'O) y la más antropizada, a un sitio urbano del municipio Cotorro, al borde de una

carretera principal (23° 02'N, 82° 15'O). En lo adelante, dichas localidades se designan como IES y Cotorro, respectivamente. El clima de estos sitios es subtropical húmedo, con una época lluviosa que se extiende de mayo a octubre y un período seco de noviembre a abril, este último se corresponde con las temperaturas más bajas para Cuba (Borhidi 1996).

Las semillas se obtuvieron a partir de frutos maduros y cerrados sobre las plantas, colectados de tres individuos por localidad, con ayuda de una vara telescópica. Las semillas desarrolladas de cada procedencia se mezclaron obteniéndose dos lotes únicos. Se consideraron semillas desarrolladas a los propágulos con presencia de embrión, según la clasificación de Niembro (1995). Los ensayos de laboratorio se realizaron inmediatamente después de la colecta.

Características morfofisiológicas de las semillas

De cada procedencia se tomaron y enumeraron individualmente 50 semillas al azar, a las cuales se les determinaron las siguientes variables: largo (mm) con y sin estructura de dispersión, ancho (mm) y grosor (mm) sin estructura de dispersión, masa fresca (mg), masa seca (mg), contenido de humedad inicial (%), masa seca destinada a reservas (%) y masa seca destinada a cubiertas (%).

Las dimensiones seminales se obtuvieron mediante el empleo de un pie de rey Mitutoyo con error de 0,02 mm. Con estos valores se calculó el índice de la varianza de las dimensiones según el método de Thompson & al. (1993). Previo al cálculo de la varianza, cada valor de dimensión seminal se dividió entre el valor de la longitud, así la longitud es igual a la unidad. De esta forma, una semilla esférica presentará un valor de varianza de 0, mientras que en una alargada o achatada, su varianza puede ser hasta 0,33.

La masa fresca se determinó en una balanza Sartorius con precisión 10^{-4} g. La masa seca y contenido de humedad inicial se obtuvieron a partir del secado de las semillas durante 17 horas en una estufa a $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ según las normas del *International Seed Testing Association* (ISTA 2007). La distribución de masa en las semillas se calculó por dos vías, utilizando de base la metodología propuesta por Sánchez & al. (2009). Dichos autores dividen la fracción de masa destinada a las reservas (embrión + endospermo) o a las cubiertas, entre la masa seca total y luego los valores de ambas fracciones los multiplican por 100. En este estudio, para obtener la masa seca en reservas (MSR), las cubiertas fueron eliminadas de las semillas cuidadosamente bajo un microscopio estereoscópico con ayuda de un bisturí, de modo que la masa seca destinada a cubiertas (MSC) se estimó por sustracción a partir de la masa seca total de cada semilla. El segundo método

consistió en recoger las cubiertas desprendidas por las semillas una vez germinadas y convertidas en plántulas. Para ello, se tomaron por localidad cinco réplicas de 15 cubiertas seminales cada una, a las que se les determinó su masa seca, estimando luego la MSC de una semilla independiente. En este caso, fue la MSR la que se determinó por sustracción.

También se determinó el índice de probabilidad de sensibilidad a la desecación, $P(D-S)$, con base a datos biométricos de las semillas de acuerdo a la fórmula propuesta por Daws & *al.* (2006): $P(D-S) = (e^{3,269-9,974a+2,156b}) / (1 + e^{3,269-9,974a+2,156b})$, donde a representó la MSC y b es el \log_{10} de la masa seca total de la semilla. Con valores de $P(D-S) > 0,5$, es probable que las semillas sean sensibles a la desecación, y para $P(D-S) < 0,5$, es probable que las semillas sean tolerantes a la desecación. Consecuentemente, una especie con una $P(D-S) = 0,50$ tiene la misma probabilidad de ser sensible a la desecación como tolerante (Daws & *al.* 2006).

Requerimientos germinativos

Las pruebas de germinación se realizaron en cámaras de crecimiento (FRIOCEL 111L, Alemania) bajo un diseño completamente aleatorizado con arreglo factorial de los tratamientos (procedencia x temperatura x luz). Las semillas se colocaron en placas de Petri (9 cm de diámetro) sobre agar al 1% y sin previa esterilización. Se incubaron en condiciones de luz y oscuridad total a temperatura constante de 25°C y alternas de 25°C/30°C, 25°C/35°C, 25°C/40°C y 25°C/45°C (12 horas a 25°C, 8 horas en la temperatura más elevada y una transición entre ellas de 4 horas). El fotoperíodo fue de 8 horas luz, coincidente con el termoperíodo de mayor temperatura. La oscuridad constante se logró envolviendo las placas en dos capas de papel de aluminio inmediatamente después de la siembra.

Se utilizaron por tratamiento tres réplicas de 15 semillas cada una y se consideraron germinadas con emergencia incipiente de la radícula. El conteo de la germinación fue diario para las semillas expuestas a la luz y para las semillas expuestas a oscuridad se estableció al finalizar el experimento, cuya duración fue de 30 días. La localización de las placas en las incubadoras se cambió regularmente. Para la condición de luz se determinó en cada rango de temperatura: día de inicio de la germinación, tiempo medio de germinación (días) y sincronización del proceso germinativo ($0 \leq S \leq 1$; $S=1$ cuando la germinación de todas las semillas ocurre al mismo tiempo), utilizando la planilla electrónica propuesta por Ranal & *al.* (2009).

Finalmente, para expresar los requerimientos de luz para la germinación se calculó el índice de Germinación Relativa a la Luz (GRL) (Milberg & *al.* 2000), donde

$GRL = GL / (GO + GL)$, siendo GL el porcentaje de germinación a la luz, y GO el porcentaje de germinación en oscuridad. Para ello, se tomaron los valores promedio de la germinación a la luz y a la oscuridad en 25°C/30°C (rango de temperatura óptimo para la germinación, ver en discusión). El índice de GRL varía entre 0 (germinación solo en oscuridad) y 1 (germinación solo a la luz). Si el índice GRL fue superior a 0,75 se consideró que la especie (o procedencia) es dependiente de la luz (fotoblástica positiva), si fue menor a 0,25 se consideró repelente de la luz (fotoblástica negativa), y si el valor estuvo entre 0,25 y 0,75 se estableció como indiferente a la luz (Funes & *al.* 2009).

Asignación de las clases de dormancia

Se empleó el sistema de clasificación y la clave dicotómica propuestos por Baskin & Baskin (2014) para la identificación de clases de dormancia seminal. Teniendo en cuenta el tipo de embrión (diferenciado y completamente desarrollado en esta familia), se consideró que la especie poseía semillas dormantes si su germinación comenzó después de 28 días en condiciones óptimas de germinación (Baskin & Baskin 2014), o si bien al menos un 20% de las semillas permanecieron vivas y sin germinar al final del experimento (Sánchez & *al.* 2015a). Se consideraron vivas las semillas con embriones blancos y firmes, y muertas aquellas semillas con embriones suaves o grises.

Patrón de imbibición en agua

Las semillas se colocaron en placas de Petri (9 cm de diámetro) sobre papel de filtro humedecido con agua destilada estéril a temperatura alterna de 25°C/30°C y expuestas a la luz, con termoperíodo y fotoperíodo como los descritos anteriormente. En intervalos de 8 horas durante cuatro días, las semillas se pesaron para determinar la dinámica de absorción de agua en relación al peso fresco: $[\text{peso húmedo (mg)} - \text{peso fresco (mg)}] / \text{peso fresco (mg)} * 100$. Para tal propósito, se tomaron por punto de imbibición tres réplicas de 15 semillas cada una. Antes de tomar el peso húmedo de cada réplica, se eliminó el agua superficial de las semillas empleando una bomba de vacío. La hidratación se consideró completa hasta el inicio de la germinación visible.

Análisis estadístico

Se calculó la media y el error estándar para cada variable estudiada. La normalidad de los datos se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk's y la homogeneidad de varianzas a través de la prueba de Levene. Las variables morfofisiológicas de las semillas se analizaron mediante una prueba t de Student y las variables germinativas a través de un ANOVA factorial de efectos fijos. Las pruebas estadísticas se realizaron en el programa *Statistica v. 8.0*. No se aplicaron pruebas de comparaciones múltiples de medias *a posteriori*, debido a que las variables

independientes representaron combinaciones de tratamientos cuantitativos (luz y temperatura) y cualitativos no estructurados (procedencia).

RESULTADOS

Características morfofisiológicas de las semillas

De las once variables morfofisiológicas que se estudiaron en las semillas de cedro, solamente el largo (con y sin estructura de dispersión) y el contenido de humedad, mostraron diferencias significativas entre procedencias (Tabla I). Las semillas del IES resultaron ser las de mayor longitud y contenido de humedad. La varianza de las dimensiones indicó que en ambos lotes las semillas eran aplanadas.

El porcentaje de masa seca destinado a reservas fue superior que el destinado a cubiertas en las semillas de ambas localidades. Los datos mostrados para estas variables corresponden a los obtenidos recogiendo las cubiertas seminales una vez germinadas las semillas; pero los resultados fueron similares siguiendo la otra metodología descrita. En este último caso, los valores de la masa destinada a cubiertas (media \pm EE) fueron $33,91 \pm 0,93\%$ y $34 \pm 0,62\%$ para las semillas del IES y del Cotorro, respectivamente. Los valores obtenidos para el índice de sensibilidad a la desecación ($<0,5$) corresponden a semillas tolerantes a la desecación.

Requerimientos germinativos

El porcentaje de germinación final no se afectó significativamente ($F = 0,64$; $P > 0,57$) por la interacción de los tres factores probados (luz, temperatura y procedencia), ni tampoco por la interacción de la luz y la procedencia ($F = 1,48$; $P > 0,23$). En cambio, esta variable dependió significativamente de las interacciones: luz y temperatura ($F = 10,71$; $P < 0,001$) así como procedencia y temperatura

($F = 18,34$; $P < 0,001$), y también de los efectos principales luz ($F = 9,01$; $P < 0,004$), temperatura ($F = 50,22$; $P < 0,001$) y procedencia ($F = 47,11$; $P < 0,001$).

Las semillas de ambas procedencias alcanzaron altos porcentajes de germinación final (más de 80%) en las temperaturas de 25°C y $25^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$, tanto a la luz como a la oscuridad (Figura 1). Sin embargo, con el aumento de la temperatura del sustrato disminuyó el porcentaje de germinación final de las semillas de cedro en las dos condiciones de iluminación. Este efecto fue más evidente en las semillas provenientes del IES, así como en las semillas de ambas localidades expuestas a oscuridad total en el termoperíodo de $25^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$. Las semillas del Cotorro resultaron ser más tolerantes al incremento de la temperatura, alcanzando altos porcentajes de germinación incluso en el termoperíodo de $25^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$; pero el rango de temperatura de $25^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$ fue letal para ambos lotes (Figura 1). De acuerdo a los valores obtenidos para el índice de germinación relativo a la luz: 0,49 y 0,5 en las semillas del IES y del Cotorro respectivamente, la germinación fue indiferente a la luz.

La procedencia y la temperatura del sustrato también marcaron diferencias en las variables de velocidad de la germinación, no así en la sincronización de dicho proceso (Tabla II). La procedencia resultó ser el factor más importante y se observó interacción de estos factores. Las semillas colectadas en el IES comenzaron a germinar primero que las del Cotorro en todos los rangos de temperatura evaluados (Tabla III); pero el termoperíodo de $25^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$ fue el más adecuado para acelerar la germinación en las semillas de ambas localidades. En este rango de temperatura fueron menores el día de inicio de la germinación y el tiempo medio de la germinación.

TABLA I

Valores promedio y error estándar (EE) de variables morfofisiológicas de semillas de *Cedrela odorata*, con y sin estructuras de dispersión, provenientes de dos localidades. Se muestran los valores no significativos (^{ns}) y significativos para $p < 0,001$ (***).

TABLE I

Average values and standard error (SE) of morphophysiological characteristics *Cedrela odorata* seeds with and without scattering structures, from two locations. The non significant (^{ns}) and significant values for $p < 0,001$ (***) are shown.

Variables seminales	IES	Cotorro	t
Largo de la semilla (mm)	$25,74 \pm 0,35$	$21,63 \pm 0,35$	***
Largo sin ala (mm)	$9,07 \pm 0,10$	$6,9 \pm 0,13$	***
Ancho sin ala (mm)	$1,03 \pm 0,03$	$1,22 \pm 0,05$	ns
Grosor sin ala (mm)	$3,76 \pm 0,08$	$3,86 \pm 0,07$	ns
Varianza de las dimensiones	$0,20 \pm 0,002$	$0,17 \pm 0,003$	ns
Masa fresca de la semilla (mg)	$21,1 \pm 0,04$	$20,1 \pm 0,50$	ns
Masa seca de la semilla (mg)	$17,46 \pm 0,31$	$18,2 \pm 0,47$	ns
Contenido de humedad (%)	$17,74 \pm 0,43$	$9,53 \pm 0,27$	***
Masa seca destinada a cubiertas (%)	$33,88 \pm 0,58$	$32,67 \pm 0,81$	ns
Masa seca destinada a reservas (%)	$66,12 \pm 0,58$	$67,33 \pm 0,81$	ns
Índice de sensibilidad a desecación	$0,020 \pm 0,003$	$0,017 \pm 0,002$	ns

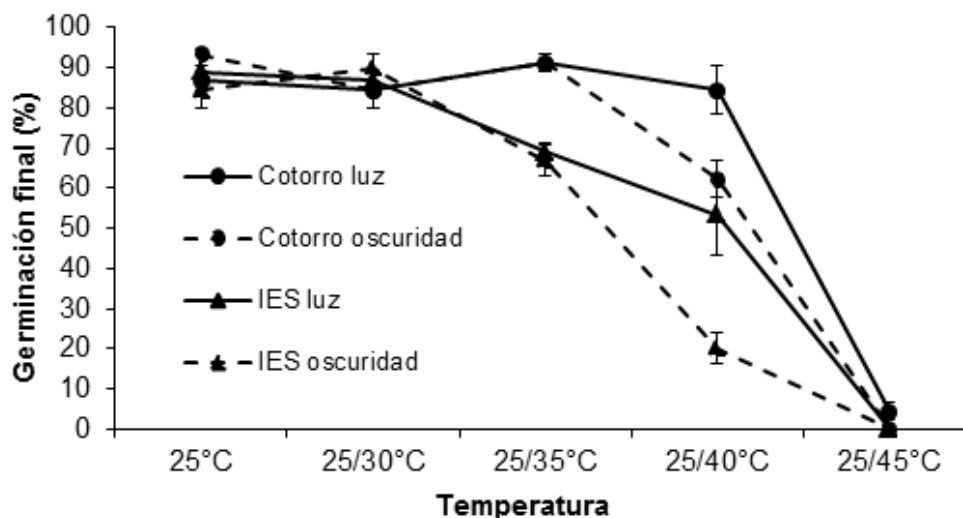


Fig. 1. Efecto de la procedencia, la temperatura del sustrato y la iluminación en el porcentaje de germinación final de semillas frescas de *Cedrela odorata*. Las barras verticales representan el error estándar de las medias.

Fig. 1. Effect of origin, substrate temperature and lighting in the final germination percentage of fresh seeds of *Cedrela odorata*. Vertical bars represent the standard error of the mean.

TABLA II

Análisis de varianza para los efectos procedencia, temperatura del sustrato y su interacción sobre la germinación de *Cedrela odorata*. Se muestran los valores no significativos (^{ns}) y significativos para $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) y $p < 0,001$ (***).

TABLE II

ANOVA for origin, substrate temperature and their interaction on the germination of *Cedrela odorata*. The non significant (^{ns}) and significant values for $p < 0,05$ (*), $p < 0,01$ (**) and $p < 0,001$ (***). are shown.

Variable Dependiente	Fuente de variación (F)		
	Procedencia (A)	Temperatura (B)	(A x B)
Día de inicio de germinación	100,00***	36,67***	8,67**
Tiempo medio germinación	142,14***	82,08***	4,77*
Sincronización de la germinación	0,08 ^{ns}	0,58 ^{ns}	1,25 ^{ns}

TABLA III

Efecto de la procedencia y la temperatura (media \pm EE) sobre la germinación de semillas frescas de *Cedrela odorata*. IG: Día de inicio de la germinación. TMG: Tiempo medio de germinación. S: Sincronización del proceso de germinación.

TABLE III

Effect of origin and temperature (mean \pm SE) on the germination of fresh seeds of *Cedrela odorata*. IG: Starting day of germination. TMG: Mean germination time. S: Synchronization of the germination process.

Procedencias	Temperaturas	IG	TMG	S
IES	25°C	2 \pm 0,00	3,59 \pm 0,13	0,27 \pm 0,02
	25/30°C	1,67 \pm 0,33	3,15 \pm 0,16	0,28 \pm 0,02
	25/35°C	2,33 \pm 0,33	4,63 \pm 0,24	0,20 \pm 0,02
	25/40°C	4,67 \pm 0,33	6,24 \pm 0,18	0,19 \pm 0,09
Cotorro	25/25°C	4 \pm 0,00	5,38 \pm 0,23	0,21 \pm 0,03
	25/30°C	3,33 \pm 0,33	4,91 \pm 0,15	0,24 \pm 0,08
	25/35°C	5 \pm 0,00	6,36 \pm 0,11	0,30 \pm 0,01
	25/40°C	5 \pm 0,00	6,91 \pm 0,16	0,22 \pm 0,03

Asignación de clases de dormancia seminal

En ambos lotes de semillas la germinación ocurrió antes de los 28 días en todos los rangos de temperatura evaluados, indicando ausencia de dormancia seminal. En la temperatura considerada como óptima las semillas que no germinaron estaban muertas.

Patrón de imbibición de agua

En la temperatura alterna de 25°C/30°C, las semillas presentaron un patrón trifásico de absorción de agua (Figura 2). La hidratación fue muy similar hasta las 32 horas de imbibición para ambas procedencias, tiempo que podría considerarse como la fase I de dicho patrón. Sin embargo, la fase II fue más extensa en las semillas provenientes del Cotorro. La emergencia de la radícula ocurrió, aproximadamente, a las 64 horas en las semillas del IES y a las 96 horas en las del Cotorro. Estos tiempos de inicio de la germinación coincidieron con los obtenidos en las pruebas de germinación en dicho termoperíodo y representaron el inicio de la fase III en cada caso.

DISCUSIÓN

El largo de las semillas y su contenido de humedad fueron las únicas características morfofisiológicas evaluadas que mostraron diferencias significativas entre procedencias (Tabla I). Dicha variación posiblemente está relacionada con las condiciones particulares de cada sitio. Según Baskin & Baskin (2014), factores ambientales como los niveles de dióxido de carbono, la humedad del suelo, la nutrición mineral, la luz y la temperatura, actúan

directamente sobre las plantas madres y pueden causar cambios en el tamaño, color y forma, así como en la estructura y composición química de las semillas que ellas producen.

Aunque en las variables de masa no se encontraron diferencias estadísticas entre procedencias, la masa fresca de las semillas del IES fue ligeramente superior a la masa fresca de las semillas del Cotorro y lo contrario ocurrió para la masa seca. Esto podría explicar, numéricamente, por qué las semillas del IES resultaron ser las de mayor contenido de humedad. Desde un punto de vista biológico, dichos resultados podrían deberse a diferencias en la permeabilidad de las cubiertas de las semillas de ambas procedencias. Se conoce que durante la maduración de las semillas, diferentes factores ambientales y maternos pueden alterar la permeabilidad de las cubiertas seminales (Guterman 2000). Por consiguiente, una mayor permeabilidad de las cubiertas en las semillas del IES, pudo favorecer la entrada de agua a las semillas durante su formación. Montejó & *al.* (2005) encontraron diferencias en la permeabilidad de las cubiertas seminales entre dos procedencias de majagua; estas diferencias se reflejaron en el nivel de hidratación alcanzado por las semillas de ambos lotes (no hidratadas, poco hidratadas o hidratadas) luego de permanecer en agua durante un tiempo establecido.

También es posible que las semillas del IES hayan sufrido de un acondicionamiento natural en las plantas madres,

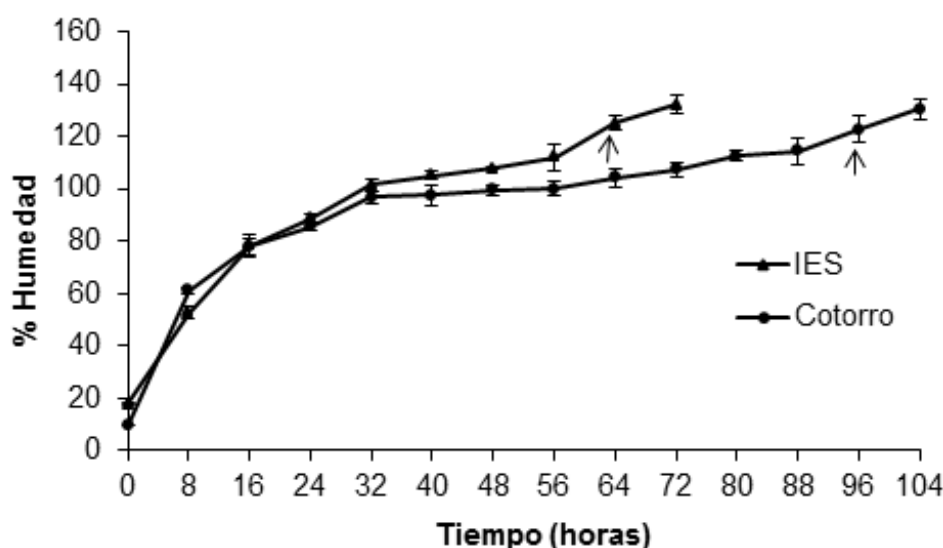


Fig. 2. Curvas de hidratación en agua a 25/30°C de semillas frescas de *Cedrela odorata* provenientes de dos localidades. Las flechas indican el tiempo aproximado de la primera señal visible de germinación y las barras verticales muestran el error estándar de la media (\pm) cuando es más grande que el símbolo.

Fig. 2. Curves of hydration in water at 25/30°C of fresh seeds of *Cedrela odorata* from two locations. The arrows indicate the approximate time of the first visible sign of germination and vertical bars show the standard error of the mean (\pm) when larger than the symbol.

provocado por las lluvias que ocurrieron días antes de la colecta de los frutos acompañando la entrada de los frentes fríos dentro de la estación seca. En dicha localidad se encontraron con frecuencia, semillas germinadas dentro de los frutos. Además, las curvas de hidratación (Figura 2) sugieren que las semillas del IES presentaban un nivel metabólico superior al de las semillas del Cotorro, puesto que la fase II, donde ocurren la mayoría de los eventos metabólicos relacionados con la germinación (Varier & al. 2010) fue más corta en las semillas del IES.

El contenido de humedad encontrado en las semillas del IES (17,4%) también fue superior a los obtenidos para esta misma especie en otros sitios de Cuba (desde 5,39 hasta 7,30%) (Torres-Arias 2003, J.A. Sánchez datos no publicados) y por Corbineau & al. (1985) (de 6 a 9,5%). Sin embargo, las semillas frescas de *C. odorata* de un bosque tropical estacional de Panamá, alcanzaron un 38,5% de contenido de humedad inicial (Sautu & al. 2006). Estas diferencias apoyan el efecto que puede tener la procedencia sobre este rasgo y la importancia de este tipo de estudio. Se conoce que especies con amplias distribuciones geográficas tienen el potencial de exhibir amplias variaciones intraespecíficas (Gratini 2014).

Criterios basados en el contenido de humedad de las semillas y su masa han sido empleados para predecir la conducta de almacenamiento de las semillas. En este sentido, semillas con valores de contenido de humedad $\leq 20\%$ y valores de peso de 1000 semillas $< 25\text{g}$, es muy probable que muestren conductas de almacenamiento ortodoxas (Hong & Ellis 1996). De acuerdo a nuestros resultados, las semillas de ambos lotes entrarían en esta categoría. Los valores obtenidos para el índice de sensibilidad a la desecación (Tabla 1), también indican que los propágulos de ambas procedencias podrían ser tolerantes a la desecación. El cedro está registrado como una especie con semillas tolerantes a la desecación y que pueden ser almacenadas por largo tiempo (i.e., semillas ortodoxas) (Royal Botanic Garden Kew 2015). Igualmente se conoce que en la familia *Meliaceae* la forma de la semilla está asociada con la tolerancia a la desecación (Hong & Ellis 1998). De este modo, semillas planas (como las de ambas procedencias), son tolerantes a la desecación; mientras que especies con semillas redondas son más sensibles. Sin embargo, se requieren adecuados protocolos de desecación y almacenamiento para determinar qué tan tolerantes a la deshidratación son las semillas de ambos lotes y por cuánto tiempo podrían ser almacenadas sin perder viabilidad.

Por otra parte, la distribución de biomasa seminal encontrada en ambas localidades indica que se asignó mayor cantidad de energía a la formación de reservas. Dicho comportamiento ha sido reportado en diversas especies arbóreas cubanas que no presentan dormancia

seminal, como una estrategia para una rápida germinación luego de la dispersión de las diásporas (Sánchez & al. 2009). En este estudio, la germinación de *C. odorata* ocurrió antes de los 28 días en todas las condiciones evaluadas, lo que sugiere ausencia de dormancia seminal. Similar resultado fue obtenido por Sautu & al. (2007).

Aunque la germinación final de los lotes estudiados se afectó significativamente por los efectos principales evaluados (luz, temperatura y procedencia); de acuerdo a los resultados del ANOVA, la temperatura y la procedencia fueron los factores más importantes. Los altos porcentajes de germinación encontrados tanto a la luz como a la oscuridad, unido a los valores obtenidos para el índice de germinación relativo a la luz, indican que la especie no es fotoblástica, como ya habían reportado Corbineau & al. (1985). En el estudio realizado por Passos & al. (2008), la germinación de semillas de cedro tampoco se mostró sensible a diferentes niveles de luz aplicados (luz blanca, luz roja y oscuridad).

El termoperíodo de $25^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$ puede considerarse como el óptimo para la germinación de estas procedencias, debido a que favoreció la velocidad del proceso germinativo y en él se alcanzaron altos porcentajes de germinación final (Baskin & Baskin 2014). Además, en esta temperatura existió una correspondencia casi exacta entre las semillas germinadas y las plántulas emergidas en ambos lotes, se alcanzaron valores de germinación final superiores a los registrados para semillas cubanas (Anónimo 1983) y las semillas que no germinaron estaban muertas.

En estudios realizados sobre el efecto de la temperatura en la germinación de esta misma especie, Andrade & Pereira (1994) informaron que los mejores resultados fueron obtenidos para las temperaturas fijas de 25°C y 30°C . Según Corbineau & al. (1985), la temperatura de 30°C fue la más favorable para el alargamiento de la raíz y del hipocótilo en *C. odorata*; mientras que en el trabajo realizado por Passos & al. (2008), temperaturas constantes de 25°C y 30°C y alterna de $20^{\circ}\text{C}/30^{\circ}\text{C}$, constituyeron las óptimas.

Las semillas provenientes del Cotorro resultaron ser más termotolerantes, alcanzando altos porcentajes de germinación incluso en el termoperíodo de $25^{\circ}\text{C}/40^{\circ}\text{C}$. Esto puede deberse a que provienen del sitio menos conservado y con menor cobertura vegetal. Consecuentemente, las semillas de sitios más antropizados podrían emplearse en la reforestación y/o restauración de lugares más abiertos, donde estarían expuestas a una mayor radiación solar y déficit hídrico. Por el contrario, las semillas de hábitats mejor conservados, serían adecuadas para sitios semiabiertos, donde el estrés calórico sea menos intenso. El rango de temperatura de $25^{\circ}\text{C}/45^{\circ}\text{C}$ fue letal para ambos lotes de semillas. Este

termoperíodo se considera letal para muchas semillas frescas de especies cultivadas y silvestres (Baskin & Baskin 2014), y también se ha informado como letal para muchas especies nativas cubanas (particularmente de estadios avanzados de la sucesión) (Sánchez & al. 2015a, 2015b). Los resultados obtenidos en esta última condición, podrían predecir la respuesta de la especie al Cambio Climático Global.

CONCLUSIONES

El estudio demostró que el factor procedencia produce cambios en las características de las semillas de *Cedrela odorata* y en su respuesta germinativa. Los resultados descartaron la presencia de dormancia seminal y de fotoblastismo en los lotes. Además, se evidenció la tolerancia a la desecación de las semillas, similar a lo que ocurre en otras especies pioneras. Por otra parte, la temperatura alterna de 25°C/30°C fue la óptima para la germinación, mientras que 25°C/45°C se consideró letal. Estudios de este tipo pueden ser útiles para seleccionar fuentes semilleras en proyectos de restauración ecológica, o bien para la conservación de la especie en bancos de semillas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a Jessica Pérez por la colecta de los frutos del Cotorro y su colaboración en distintas etapas del trabajo, a Laura Montejó y Alejandro Gamboa por la asistencia técnica en el laboratorio. Esta investigación fue realizada en el marco del proyecto "Potenciar y sostener la conservación de la biodiversidad en tres paisajes productivos del Ecosistema Sabana- Camagüey". A los árbitros anónimos y a los editores de la Revista del Jardín Botánico Nacional por sus sugerencias que contribuyeron a mejorar la versión final de este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, A.C.S. & Pereira, T.S. 1994. Efeito do substrato e da temperatura na germinação e no vigor de sementes de cedro- *Cedrela odorata* L. (*Meliaceae*). *Rev. Bras. Sementes* 16: 34-40.

Anónimo. 1983. Manual de semillas. Facultad de Ingeniería Forestal. Centro Universitario de Pinar del Río. Pinar del Río, Cuba.

Baskin, J.M. & Baskin, C.C. 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 14: 1-16.

Baskin, C.C. & Baskin, J.M. 2014. *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. Academic Press, San Diego.

Borhidi, A. 1996. *Phytogeography and Vegetation Ecology of Cuba*. Akademiai Nyomda. Martonvazar, Hungary.

Corbineau, F., Defresne, S. & Côme, D. 1985. Quelques caractéristiques de la germination des graines et de la croissance des plantules de *Cedrela odorata* L. (*Méliacées*). *Revue Bois et Forêts des Tropiques* 20: 17-22.

Daws, M.I., Garwood, N.C. & Pritchard, H.W. 2006. Prediction of desiccation sensitivity in seeds of woody species: a probabilistic model based on two seed traits in 104 species. *Ann. Bot.* 97: 667-674.

Funes, G., Díaz, S. & Venier, P. 2009. La temperatura como principal determinante de la germinación en especies del Chaco seco de Argentina. *Ecol. Austral.* 19: 129-138.

Gratini, L. 2014. Plant Phenotypic Plasticity in Response to Environmental Factors. *Adv. Botany*. DOI: 10.1155/2014/208747.

Gutterman, Y. 2000. Maternal effects on seeds during development. pp. 59-84. En: Fenner, M. (ed.). *Seeds: The Ecology of Regeneration in Plant Communities*, 2nd edition. CAB International, Wallingford.

Herrera, R.A., Ulloa, D.R., Valdés-Lafont, O., Priego, A.G. & Valdés, A.R. 1997. Ecotechnologies for the sustainable management of tropical forest diversity. *Nature & Resources* 33: 2-17.

Hong, T.D. & Ellis, R.H. 1996. A protocol to determine seed storage behaviour. International Plant Genetic Resources Institute, Technical Bulletin No. 1. Italy.

Hong, T.D. & Ellis, R.H. 1998. Contrasting seed storage behaviour among different species of *Meliaceae*. *Seed Sci. Technol.* 10: 301-306.

ISTA (International Seed Testing Association). 2007. International rules for seed testing. Bassersdorf, Suiza.

Milberg, P., Andersson, L. & Thompson, K. 2000. Large-seeded species are less dependent on light for germination than small-seeded ones. *Seed Sci. Res.* 10: 99-104.

Montejó, L. A., Sánchez, J. A. & Muñoz, B. 2005. Dormancy and germination in *Talipariti elatum* seeds. *Bot. Complut.* 29: 57-62.

Niembro, A. 1995. Producción de semillas de cedro *Cedrela odorata* L. bajo condiciones naturales en Campeche, México. pp. 249- 263. En: Memorias del I Simposio "Avances en la producción de semillas forestales en América Latina", Managua.

Niembro, A., Vázquez, M. & Sánchez, O. 2010. Árboles de Veracruz: 100 especies para la reforestación ecológica. Universidad Veracruzana- CITRO. Veracruz, México.

Passos, M.A.A., Cabral da Silva, F.J.B., Da Silva, E.C.A., Pessoa, M.M.L. & Dos Santos, R.C. 2008. Luz, substrato e temperatura na germinação de sementes de cedro- vermelho. *Pesq. Agropec. Bras.* 43: 281-284.

Ranal, M.A., Santana, D.G., Ferreira, W.R. & Mendes-Rodrigues, C. 2009. Calculating germination measurements and organizing spreadsheets. *Revista Brasil. Bot.* 32: 849-855.

Royal Botanic Garden Kew. 2015. Seed Information Database (SID). Version 7.1. <http://data.kew.org/sid/> . 16 de octubre 2015.

Sánchez, J.A., Montejó, L., Gamboa, A., Albert-Puentes, D. & Hernández, F. 2015a. Germinación y dormancia de arbustos y trepadoras del bosque siempreverde de la Sierra del Rosario, Cuba. *Pastos y Forrajes* 38: 11-28.

Sánchez, J.A., Montejó, L. & Pernús, M. 2015b. Germinación de nuestras semillas: factor de éxito en la restauración ecológica. pp 130-145. En: Menéndez L., Arellano, M. & Alcolado, P.M. (eds.) ¿Tendremos desarrollo socioeconómico sin conservación de la biodiversidad? Experiencias del Proyecto Sabana-Camagüey en paisajes productivos. Editorial AMA. La Habana.

Sánchez, J.A., Muñoz, B. & Montejó, L. 2009. Rasgos de semillas de árboles en un bosque siempreverde tropical de la Sierra del Rosario, Cuba. *Pastos y Forrajes*. 32: 141-164.

Sánchez, J.A., Suárez, A.G., Montejó, L. & Muñoz, B.C. 2011. El cambio climático y las semillas de las plantas nativas cubanas. *Acta Bot. Cub.* 214: 38- 50.

Sautu, A., Baskin, J.M., Baskin, C.C. & Condit, R. 2006. Studies on the seed biology of 100 native species of tree in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *For. Ecol. Manage.* 234: 245-263.

Sautu, A., Baskin, J.M., Baskin, C.C., Deago, J. & Condit, R. 2007. Classification and ecological relationships of seed dormancy in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Seed Sci. Res.* 17: 127-140.

Thompson, K., Band, S.R. & Hodgson, J.G. 1993. Seed size and shape predict persistence in soil. *Funct. Ecol.* 7: 236-241.

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, Cuba.

Varier, A., Vari, A.K. & Dadlani, M. 2010. The Subcellular basis of seed priming. *Curr. Sci.* 99: 450-456.