



## Germinación de nuestras semillas: factor de éxito en la restauración ecológica

Jorge A. Sánchez Rendón  
Laura A. Montejo Valdés  
Mayté Pernús Álvarez  
Instituto de Ecología y Sistemática  
Agencia de Medio Ambiente, CITMA  
Contacto: jasanchez@ecologia.cu

Parte de la información contenida en este artículo se obtuvo a partir del apoyo de la International Foundation For Science (Suecia) y del programa IDEA WILD.

### RESUMEN

El conocimiento de la biología de la semilla es una herramienta clave para entender los procesos de regeneración de las comunidades vegetales y ejecutar proyectos de reforestación y restauración ecológica. Dilucidar los requerimientos reproductivos de las plantas nativas, raras y endémicas cubanas tributará directamente a las tareas de conservación de la diversidad biológica, reforestación y mitigación del Cambio Climático que se realizan en Cuba y a nivel regional.

La ecofisiología de la germinación es la base para el desarrollo de ecotecnologías con semillas, las cuales aceleran la germinación y el crecimiento de las plantas bajo diferentes escenarios ambientales. Se ofrecen los requerimientos germinativos y clases de dormancia para un gran número de especies del Ecosistema Sabana-Camagüey (ESC), útiles en proyectos de restauración. También se exponen posibles mecanismos de dormancia para las principales familias botánicas del ESC y los tratamientos pregerminativos para su eliminación. La dormancia fisiológica es la clase de dormancia más común que tienen las semillas del ESC, tal como se ha informado para zonas tropicales y subtropicales, y por tanto constituye el principal impedimento para que su germinación se produzca inmediatamente después de la dispersión en ambientes favorables.

### PALABRAS CLAVE

dormancia seminal germinación  
plantas nativas cubanas  
ecología de semillas

### Saber más, para reforestar mejor

Los proyectos de restauración ecológica (o reforestación estratégica) constituyen una alternativa adecuada para la recuperación de las funciones y servicios de los ecosistemas frente a los proyectos tradicionales de forestación y reforestación. Sin embargo, muchos de estos proyectos ecológicos fallan, porque entre otras cosas, no se realiza una adecuada selección de especies para un hábitat determinado y persiste la baja supervivencia de las plántulas en condiciones de campo.

La falta de conocimiento sobre biología de la semilla de las especies autóctonas, también explica por qué en muchos sitios tropicales los proyectos de restauración con especies nativas fracasan. Esta situación es muy común en los viveros forestales de los llamados países del Tercer Mundo o subdesarrollados, donde los recursos materiales son muy limitados, tanto para las investigaciones ecológicas y forestales como para la realización de atenciones silviculturales en las nuevas plantaciones. De hecho, se propone la siembra de árboles pioneros<sup>1</sup> u otras especies nodrizas similares (plantas facilitadoras), que con su crecimiento más acelerado y características funcionales únicas mejoran la calidad del terreno y protegen a las plántulas de especies de estadios más avanzados de la sucesión (Herrera et al., 1997). Estas especies, además, reducen los costos de mantenimiento de las plantaciones.

Tampoco se ha discutido mucho sobre la vulnerabilidad de los mecanismos de regeneración de las plantas a la variabilidad ambiental, principalmente climática, aunque se reconoce que el Cambio Climático Antropogénico<sup>2</sup> y la fragmentación del hábitat están entre las principales amenazas para la diversidad biológica tropical. Esto último, sin dudas, compro-

mete la permanencia de las floras autóctonas de los ecosistemas tropicales, debido a que no existe una valoración sobre su capacidad de regeneración diferencial frente al estrés y en los posibles escenarios ambientales inducidos por el Cambio Climático (Sánchez et al., 2011). Todo ello, además, aumenta la fragilidad de muchas especies de animales y plantas a condiciones ambientales adversas, pero también crea nuevos hábitats para la expansión de las especies exóticas invasoras.

Por tanto, se hace necesario profundizar en dos líneas ecofisiológicas fundamentales para obtener mayores logros en la reconstrucción de los paisajes tropicales. La primera de ellas debe ir dirigida a aumentar los estudios relacionados con la ecofisiología de la germinación; este conocimiento es una herramienta clave para entender la biología de la semilla de las especies nativas y con ello lograr plantaciones de calidad en el cultivo de los árboles. En segundo lugar, se deben implementar ecotecnologías o tecnologías ecológicas de bajos insumos que contribuyan de manera significativa a mejorar el funcionamiento de las semillas y plantas en condiciones de vivero y de campo, sobre todo frente a condiciones ambientales adversas como la sequía y la salinidad.

<sup>1</sup> Árboles pioneros: son aquellos árboles que aparecen al iniciarse el proceso de cierre de un claro. Se caracterizan por tener rápido crecimiento y producir gran cantidad de semillas con respuesta rápida al disturbio del suelo.

Árboles no pioneros: Son aquellos árboles que tipifican la vegetación primaria del bosque. Se caracterizan por tener lento crecimiento y tener tolerancia a la sombra durante los primeros estadios de su desarrollo.

<sup>2</sup> Cambio climático antropogénico: la quema de los combustibles fósiles por el hombre que provoca la emisión de gases de efecto invernadero.

## Aportes de la ciencia de la germinación a la transformación del paisaje

Las plantas tropicales producen diásporas<sup>3</sup> (semillas/frutos) que muestran una amplia diversidad en masas, formas, colores, estructuras de dispersión, composición química, contenido de agua, naturaleza de las reservas, mecanismos de dormancia, y patrones de germinación y longevidad (Fig. 1) (Sánchez et al., 2009a). Esta gran variabilidad en los rasgos morfológicos y fisiológicos de las semillas se debe fundamentalmente a las respuestas de las plantas a la presión del ambiente donde evolucionaron y también al ambiente ecológico actual. De esta manera, queda claro que dichos procesos de regeneración tienen lugar de forma dependiente del microhábitat, y consecuentemente,

los mecanismos evolutivos que minimizan el riesgo de transición de las semillas a plántulas están fuertemente bajo la presión de la selección (Baskin, Baskin, 2004).

De lo anterior comentado, no es de extrañar que los rasgos de las semillas se emplean en la definición de los grupos de funcionamiento ecológico de plantas para predecir el funcionamiento de las especies en un ambiente cada vez más incierto, o bien para conocer su nicho de regeneración (Herrera et al., 1997, Westoby et al., 2002, Sánchez et al., 2009b). Entre estos rasgos sobresalen la estructura interna de las semillas (en particular el tipo embrión), el contenido inicial de humedad, el tamaño o masa seminal, los requerimientos germinativos y las clases de dormancia.



Figura 1. Diásporas (semillas/frutos) de especies arbóreas nativas cubanas. Nombre de las plantas desde el extremo izquierdo superior al extremo inferior derecho: yaba (*Andira inermis*), cabo de hacha (*Trichilia hirta*), macurije (*Matayba apetala*), aguacatillo (*Alchornea latifolia*), guara común (*Cupania americana*), algarrobo (*Samanea saman*), jocuma (*Sideroxylon foetidissimum*), majagüilla (*Trichospermum mexicanum*), ocuje (*Calophyllum brasiliense*), macagua (*Pseudolmedia spuria*), majagua (*Hibiscus elatus*) y yagruma (*Cecropia peltata*). Foto: Jorge A. Sánchez Rendón.

**Germinación:** Es la emergencia de la radícula a través de las cubiertas seminales, aunque en el ámbito de la producción es aceptado que la señal de la germinación suele tomarse como la visualización de la plántula emergiendo del suelo.

**Nicho de regeneración:** Requerimientos ambientales para la germinación y establecimiento de las plántulas. El nicho de regeneración está determinado por múltiples factores (abióticos y bióticos) que pueden tener efectos contrapuestos sobre el reclutamiento de las plantas.

<sup>3</sup>Diáspora: unidad de dispersión de la especie, puede ser una semilla o un fruto.

**Dormancia seminal:** La dormancia (o letargo seminal), es un estado natural que se genera en las semillas durante sus procesos evolutivos y que sucede con un fin específico: servir como mecanismo de supervivencia o adaptación frente a ciertas condiciones ambientales. Este rasgo tiene alto grado de conservadurismo filogenético, lo que permite estimar la(s) clase(s) de dormancia para una especie a partir del conocimiento que exista para la familia o para el género.

**Clasificación de la dormancia:** Existen varias clasificaciones de dormancia, algunas con un enfoque ecológico y otras más fisiológico; pero sin dudas, la propuesta por Baskin, Baskin (2004) es muy simple, práctica y tiene un gran rigor científico. Esta clasificación es la más empleada

Por su parte, la dormancia seminal posiblemente sea el rasgo de regeneración que tenga mayor influencia sobre la reproducción de las plantas en condiciones de vivero. Apenas existe conocimiento sobre este fenómeno en las especies tropicales; aunque es válido aclarar que no siempre la dormancia es la responsable de la no germinación. Esto implica la necesidad de conocer las causas fundamentales que pueden limitar la germinación de las semillas en condiciones de vivero o de campo, pues de ello depende la domesticación de muchas plantas nativas.

Se considera que una semilla se encuentra en estado dormante cuando por razones inherentes a su desarrollo morfológico, composición y estructura de sus cubiertas, la existencia de mecanismos fisiológicos inhibitorios, o la combinación de más de uno de estos factores, determinan que el proceso de germinación no ocurra a pesar de que las condiciones físicas del medio: humedad, temperatura, iluminación, etc., sean óptimas para ello (Baskin, Baskin, 2004). Este estado también se conoce como dormancia innata de las semillas, y debe diferenciarse de la incapacidad para la germinación debida a cualquier factor externo que actúe como limitante del proceso. A este último fenómeno, diferente en principio, varios autores lo han denominado dormancia forzada o latencia de las semillas.

a nivel mundial para caracterizar la dormancia/no dormancia de cada especie y para relacionar la dormancia seminal con otros rasgos de historia de vida de la planta, en estudios de dormancia a nivel de comunidad o por formaciones vegetales.

En una misma población de semillas de una especie puede existir una sola clase de dormancia; pero se puede encontrar en una misma especie diferentes clases de dormancia, como sucede en las semillas frescas de majagua (*Hibiscus elatus*). También puede cambiar la profundidad de la dormancia y la cantidad de semillas con cada clase de dormancia, dependiendo de las condiciones en que se desarrollen las plantas madres.

Asimismo, si se parte que la función de la semilla es propiciar el establecimiento de una nueva plántula, entonces el bloqueo natural o intrínseco de la germinación por la propia semilla pudiera parecer inadecuado; sin embargo, su existencia entraña considerables beneficios para la supervivencia de la especie. La dormancia seminal constituye una manera de distribuir o extender la germinación en el tiempo y el espacio, lo cual se logra a través de los diferentes grados (profundidad) y clases de dormancia que puede presentar una población de semillas.

En los ensayos de germinación (en laboratorio o campo), una especie se considera con semillas dormantes si su germinación comienza después de 28 días bajo condiciones óptimas para la germinación y si presenta semillas con embriones subdesarrollados y diferenciados (i.e., el embrión debe crecer dentro de la semilla antes de que emerja la radícula<sup>4</sup>), independientemente del tiempo para iniciar la germinación (Baskin, Baskin, 2004, 2014). Mientras, son consideradas semillas no dormantes si el embrión es completamente desarrollado y requieren menos de 28 días para germinar.

<sup>4</sup>Radícula: porción del eje del embrión de la semilla del cual se desarrolla la raíz primaria.



### Clases de dormancia seminal

**Dormancia fisiológica (PD)**, aquellas especies con semillas permeables al agua y embrión desarrollado, pero que germinan después de los 28 días.

**Dormancia morfológica (MD)**, especies con embriones subdesarrollados y que germinan alrededor de los 30 días.

**Dormancia morfofisiológica (MPD)**, aquellas semillas con embriones subdesarrollados y con dormancia fisiológica (es decir, requieren más de 28 días para iniciar la germinación).

**Dormancia física (PY)**, son aquellas semillas con cubiertas seminales (o del fruto) impermeables al agua, pero con embriones desarrollados y no dormantes.

**Dormancia combinada (PD+PY)**, son semillas con embriones completamente desarrollados, pero presentan cubiertas seminales (o del fruto) impermeables al agua y embriones con dormancia fisiológica. Las semillas que tienen dormancia combinada necesitan más de 28 días para germinar después de ser eliminada la PY.

Es evidente que existe una relación directa entre el tipo de embrión de las semillas y las clases de dormancia (Baskin, Baskin, 2007, 2014). Por ejemplo, Montejo et al. (2014) para árboles del bosque siempreverde estacional de la Reserva de Biosfera Sierra del Rosario, Artemisa, Cuba, establecen que especies

con embriones no desarrollados (rudimentario, lineal pequeño y espatulado pequeño) presentan dormancia morfológica (MD) o morfofisiológica (MPD) como sucede en la vibona (*Dendropanax arboreus*) y *Schoepfia didyma* (Fig. 2).



Figura 2. Tipos de embriones en semillas de especies nativas cubanas.

A. *Dendropanax arboreus* (embrión rudimentario) / B. *Schoepfia didyma* (lineal pequeño) / C. *Ardisia dentata* (lineal desarrollado) / D. *Ficus maxima* (doblado) / E. *Alchornea latifolia* (espatulado) / F. *Colubrina arborescens* (inverso) / G. *Allophylus cominia* (plegado) / H. *Guazuma ulmifolia* (plegado). Las líneas blancas en la figuras A y B representan la zona donde se ubica el embrión. Fuente: Montejo et al., 2014.

En cambio, las semillas no dormantes, o que tienen dormancia fisiológica (PD), física (PY) o combinación de dormancia PD+PY, muestran embriones desarrollados de tipo lineal, espatulado, doblado, inverso y plegado. En este último grupo se encuentran especies arbóreas ampliamente distribuidas en nuestro país como son: el tapa camino (*Ardisia dentata*), el jagüey macho (*Ficus maxima*), el aguacatillo (*Alchornea latifolia*), la bijáguara (*Colubrina arborescens*), el palo de caja (*Allophylus cominia*) y la guásima (*Guazuma ulmifolia*) (Fig. 2).

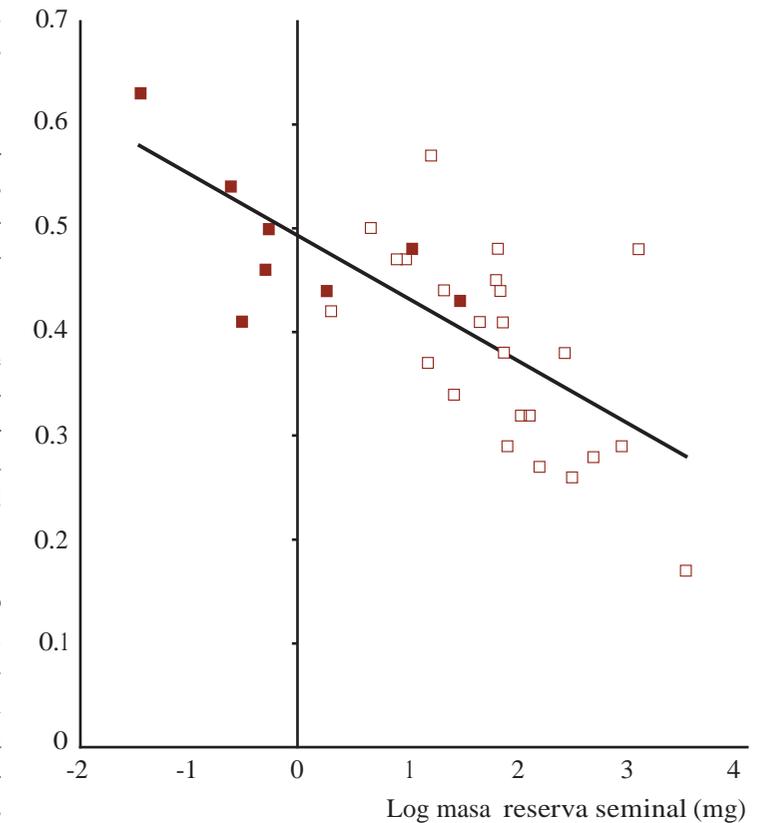
También la masa de la semilla (fresca y/o seca) y su contenido de humedad inicial están entre los atributos seminales más estudiados en las plantas tropicales y de sitios templados. La masa de la semilla desempeña un papel fundamental en la reproducción, la dispersión, la germinación, el establecimiento y la capacidad competitiva de las plantas (Westoby et al., 2002). Este resultado es normal, dado que el tamaño de la semilla se considera una de las dimensiones más importantes en la variación ecológica entre las especies, es decir, se reconoce como una herramienta básica para prever las respuestas o adaptaciones de las plantas al ambiente (Poorter, Rose, 2005).

Se conocen las relaciones que se establecen entre el tamaño de la semilla (masa seminal) con el tamaño de la plántula, la velocidad de crecimiento relativo de las plántulas, la supervivencia y las condiciones de disponibilidad de agua del sustrato. Por eso, es de esperar que la cuantificación de la respuesta diferencial de esta variable al ambiente nos permita no solo conocer las relaciones entre las especies y sus requerimientos de germinación y de establecimiento, sino también cómo coexisten frente a una gran variabilidad de recursos, o bien en los posibles espacios ambientales del Cambio Climático.

El tamaño de la semilla también tiene un papel importante en sistemas naturales fragmentados y con diferente disponibilidad de iluminación y nutrientes del sustrato; tal como fue informado, para este último escenario ecológico, en 32 especies arbóreas cubanas (Sánchez et al., 2011/2012). Dichos autores, igualmente demostraron una relación negativa entre el

tamaño seminal y la plasticidad fenotípica<sup>5</sup> de las plántulas (Fig. 3); aspecto de gran importancia teórica y práctica, pues evidencia que mediante el tamaño de la semilla se puede predecir la plasticidad de la especie para aclimatarse a diferentes

### Plasticidad fenotípica media



■ Especies pioneras  
□ Especies no pioneras

Figura 3. Relación lineal entre la plasticidad fenotípica y la masa seca de la reserva seminal para 32 especies arbóreas. Fuente: Sánchez et al., 2011/2012.

<sup>5</sup> Plasticidad fenotípica: se refiere a cualquier cambio en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental. Es decir, la propiedad de un genotipo de producir más de un fenotipo cuando el organismo se halla en diferentes condiciones ambientales.



condiciones ambientales, su capacidad de colonizar el suelo y diferencias en el establecimiento. De hecho, la plasticidad fenotípica se ha relacionado con la estrategia ecológica, el potencial de invasión, el carácter sucesional, la amplitud del nicho o el ambiente lumínico de una especie (Valladares et al., 2004).

De igual forma, el contenido de humedad inicial de la semilla es un buen indicador de la velocidad de germinación y de su longevidad. Por medio de esta variable, también se puede predecir cómo cambios en el clima (por reducción de precipitaciones e incrementos de las temperaturas) afectarían la viabilidad de las semillas recalcitrantes (semillas con alto contenido de humedad y corta viabilidad), típicas de formaciones vegetales tropicales muy húmedas, donde el agua no es una limitante para el crecimiento de las plantas, en particular para la germinación y el establecimiento. El Cambio Climático podría al-

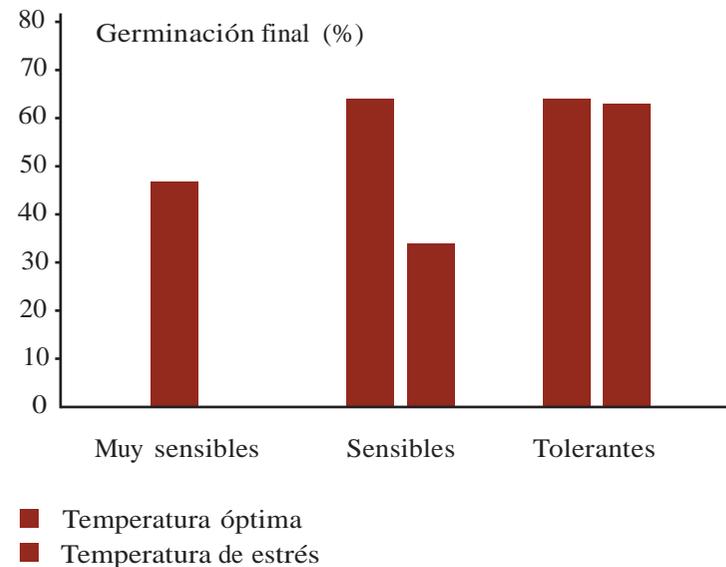


Figura 4. Germinación final de 89 plantas nativas cubanas sembradas a temperatura óptima y bajo estrés calórico. Fuente: Sánchez, 2012.

<sup>6</sup> Bosques siempreverdes mesófilos: bosque con menos de 30% de elementos caducifolios en el estrato arbóreo. Presenta dos estratos arbóreos, el superior de 15-25 m; hojas de 13-26 cm; hay palmas y emergentes de 25-30 m. Hay epifitas, lianas, arbustivas y herbáceas.

terar la composición y la estructura del bosque; por tanto, las semillas recalcitrantes cuando lleguen al suelo pueden enfrentar un severo estrés hídrico, que comprometería considerablemente la supervivencia de la especie.

Esta última hipótesis, se comprobó en diversas especies forestales de la Sierra del Rosario, que son características de la vegetación primaria del bosque siempreverde mesófilo<sup>6</sup>; como en semillas recalcitrantes de aguacatillo (*Ocotea leucoxylo*) y aceitunillo (*Beilschmiedia pendula*), que tienen un alto contenido de humedad inicial de 35,0% y 31,0%, respectivamente. También sucede en otras plantas nativas cubanas con amplia distribución en el territorio nacional y alto contenido de humedad inicial como sucede en la yaya (*Oxandra lanceolata*) (38,3%), la guara común (*Cupania americana*) (39,6%), la macagua (*Pseudolmedia spuria*) (35,0%), el yamao (*Guarea guidonia*) (34,5%), el cuajaní (*Prunus occidentalis*) (29,8%) y la yaba (*Andira inermis*) (41,8%) (Sánchez et al. 2009a). Esta situación podría ser peor para especies arbóreas y arbustivas endémicas de la región montañosa del oriente de Cuba (norte-este oriental), que ocupan bosques húmedos tropicales con alto nivel de humedad.

Los estudios de requerimientos de germinación y la identificación de las clases de dormancia seminal propician conocer las condiciones óptimas que requieren las semillas para la germinación y el establecimiento de la nueva plántula. Las pruebas de germinación en diferentes rangos de temperaturas no solo nos brindan la temperatura óptima de germinación, sino también aquellas temperaturas que son subletales y letales para dicho proceso. En Cuba, estos ensayos de germinación, por lo general, se hacen a una temperatura constante de 25°C y tres niveles de temperaturas alternas: 25/30°C, 25/35°C y 25/40°C con dos niveles de iluminación (luz y oscuridad) para simular las variaciones de luz y temperatura que sufre el suelo desde el interior del bosque hasta un claro (Sánchez et al., 2011), pero en múltiples ocasiones se prueban temperaturas extremas y letales para la germinación como son los termoperíodos<sup>7</sup> de 25/45°C y 25/50°C.

Estos últimos termoperíodos, al igual que el de 25/40°C, muestran la tolerancia o sensibilidad de las especies al estrés calórico (Fig. 4), y podrían estar presentes en los posibles escenarios

ambientales inducidos por el Cambio Climático. De hecho, ya en los claros de bosques siempreverdes se pueden alcanzar temperaturas del suelo >45°C (Sánchez, 2012) y esto podría ser

#### Muy sensibles al estrés calórico

Palo de caja (*Allophylus cominia*), tapa camino (*Ardisia dentata*), aceitunillo (*Beilschmiedia pendula*), capá rota (*Bourreria cassinifolia*), mate prieto (*Cassine xylocarpa*), bejuco (*Cayaponia racemosa*), galán de sabana (*Cestrum laurifolium*), oviedo (*Clerodendrum grandiflorum*), guara común (*Cupania americana*), guara de costa (*Cupania glabra*), ébano (*Diospyros caribea*), bú-care (*Erythrina poeppigiana*), vinagrera (*Gonzalagunia sagraena*), jaboncillo (*Gouania lupuloides*), yamao (*Guarea guidonia*), nogal (*Juglans insularis*), cuaba blanca (*Malpighia glabra*), sigua de mierda (*Nectandra coriacea*), leviza (*Ocotea floribunda*), aguacatillo (*Ocotea leucoxylo*), yaya (*Oxandra lanceolata*), huevo de gallo (*Passiflora suberosa*), mameicillo (*Wallenia laurifolia*), quina del país (*Picramnia pentandra*), taburete (*Psychotria domingensis*), tapa camino (*Psychotria grandis*), Schoepfia didyma, raíz de china (*Smilax laurifolia*), bejuco de ñame (*Smilax mollis*).

#### Sensibles al estrés calórico

Aguacatillo (*Alchornea latifolia*), yaba (*Andira inermis*), bejuco de tortuga (*Bauhinia glabra*), pata de vaca (*Bauhinia purpurea*), almácigo (*Bursera simaruba*), ocuje (*Calophyllum brasiliense*), ocuje (*Calophyllum pinetorum*), já yana (*Casearia guianensis*), sarnilla (*Casearia sylvestris*), ceiba (*Ceiba pentandra*), cuajaní (*Prunus occidentalis*), rompe zaragüey (*Chromolaena odorata*), caimitillo (*Chrysophyllum cainito*), ateje de costa (*Citharexylum*

mayor en una vegetación más abierta, como son los matorrales xeromorfos costeros<sup>8</sup> o bosques siempreverdes micrófilos<sup>9</sup>.

spinosum), manto de vieja (*Clitoria ternatea*), abey (Cojoba arborea), bijaguara (*Colubrina arborescens*), cordobán (*Conostegia xalapensis*), ateje (*Cordia collococca*), guara macho (*Cupania juglandifolia*), bejuco colorado (*Davila rugosa*), vibona (*Dendropanax arboreus*), yamchat (*Dioscorea tamoidea*), roble prieto (*Ehretia tinifolia*), Eugenia farameoides, ficus (*Ficus aurea*), jagüey macho (*Ficus maxima*), acacia (*Gliricidia sepium*), majagua (*Hibiscus elatus*), bambusito (*Lasiacis divaricata*), sabicú (*Lysiloma sabicu*), macurije (*Matayba apetala*), salvia (*Pluchea carolinensis*), sapote (*Pouteria dominigensis*), macagua (*Pseudolmedia spuria*), jaboncillo (*Sapindus saponaria*), gavilán (*Simaruba laevis*), siguaraya (*Trichilia havanensis*), cabo de hacha (*Trichilia hirta*), ayúa blanca (*Zanthoxylum martinicense*).

#### Tolerantes al estrés calórico

Peonía de San Tomas (*Abrus precatorius*), já blanca (*Adelia ricinella*), yarúa (*Caesalpinia violaceae*), yagruma (*Cecropia peltata*), guásima (*Guazuma ulmifolia*), jardinera (*Hyptis verticillata*), añil (*Indigofera suffruticosa*), aguinaldo rosado (*Jacquemontia verticillata*), ojo de buey (*Mucuna pruriens*), capulí (*Muntingia calabura*), pasionaria de cerca (*Passiflora sexflora*), tenguen (*Poeppigia procera*), bejuco rastreiro (*Rhynchosia reticulata*), algarrobo (*Samanea saman*), jocuma (*Sideroxylon foetidissimum*), ajicón (*Solanum jamaicense*), pendejera (*Solanum torvum*), capulí cimarrón (*Trema micrantha*), majagüilla (*Trichospermum mexicanum*), campanilla (*Turbina corymbosa*).

Tabla 1. Respuestas de especies nativas cubanas al estrés calórico durante la germinación.

<sup>7</sup> Termoperíodos: variación de la temperatura en un tiempo determinado y que viene dada por los valores máximos y mínimos de temperatura alcanzados, por la diferencia entre estos valores y por los ciclos de repetición de dicha temperatura.

<sup>8</sup> Matorrales xeromorfos costeros: matorral con arbustos, aunque puede haber emergentes arbóreos achaparrados; a veces semeja un bosque arbustoso.

<sup>9</sup> Bosques siempreverdes micrófilos: bosque con la dominancia de árboles siempreverdes, pero también con la participación de elementos deciduos. Dos estratos arbóreos, de 12-15 m y 5-10 m; hojas de 1-6 cm. Hay epifitas, lianas, arbustos, éstos a veces espinosos, y algunas cactáceas columnares o arborescentes, así como otras suculentas y herbáceas.

En nuestros experimentos de germinación se demostró que el incremento de la temperatura (25/40°C) afectó considerablemente la germinación del 78% de las especies estudiadas (69), las cuales se pueden catalogar como muy sensibles y sensibles al estrés calórico (Fig. 4). El primer grupo no germinó bajo dichas condiciones de siembra y en el segundo la germinación se redujo a más del 50%.

Vale señalar que las especies que caracterizaron estos grupos fueron plantas no pioneras o tolerantes a la sombra durante sus primeros estadios (Tab. 1). Por su parte, las plantas tolerantes al estrés (solo 20 especies) fueron árboles pioneros, arbustos y trepadoras que se establecen en sitios abiertos. La mayoría de estas especies también han mostrado tolerancia al estrés hídrico durante su germinación (Sánchez et al., 2011).

Igualmente, el conocimiento de los grupos de funcionamiento ecológico (o tipos funcionales de plantas) basados en características de semillas y plántulas, es una herramienta primordial para apoyar planes de restauración ecológica y permite conocer cómo responden las plantas, con iguales características funcionales, a la variabilidad climática. Este enfoque simplifica la diversidad biológica, y con solo conocer los rasgos seminales que definen las diferentes estrategias de regeneración podremos predecir en qué etapa de desarrollo sucesional se encuentra la comunidad forestal y qué factores ambientales favorecen o limitan el avance de ciertos grupos funcionales (Sánchez et al., 2009b).

### Un viaje a la semilla del Ecosistema Sabana-Camagüey

En Cuba, los estudios de regeneración por semillas también son muy limitados, aunque recientemente se han realizado contribuciones significativas a nivel de especie y de comunidad (Sánchez et al., 2009a, 2009b, 2011/2012, 2015, Muñoz et al., 2012a, 2012b, Montejo et al., 2014). Para tener una mejor comprensión de esto, solo tenemos que analizar el estado del conocimiento de la biología de la semilla en las plantas endémicas cubanas. Según Sánchez et al. (2011) solo existen estudios de mecanismos de germinación/dormancia para cerca de 50 especies endémicas, lo que significa que la información disponi-

ble en los endemismos no alcanza siquiera el 2% con relación a su número total (3409).

En el caso de las 61 especies nativas que están protegidas por la Ley Forestal de Cuba (Álvarez et al., 2006) existe un gran vacío de información sobre sus mecanismos de propagación. Téngase en cuenta que solo para 32 especies hay alguna información sobre la biología de semilla, en 29 especies no se conoce cómo se propagan, y de este último grupo, 19 son endemismos cubanos.

Por lo anteriormente comentado, es de esperar que existan pocos conocimientos sobre la ecofisiología de la germinación de la especies vegetales que caractericen el área de influencia del Proyecto Sabana-Camagüey.

El Ecosistema de Sabana-Camagüey (ESC) atesora una rica diversidad vegetal, que abarca 874 especies (151 endemismos), distribuidas en 417 géneros y 104 familias botánicas y ocupan diferentes formaciones vegetales de importancia mundial (bosques de manglares, bosques semidecíduos, bosques siempreverdes micrófilos, matorrales xeromorfos, complejos de vegetación, entre otros) (Menéndez et al., 2007, Menéndez, Guzmán, 2007). Estos ecosistemas, además, se encuentran sometidos a varias condiciones ambientales de estrés como la salinidad, la sequía y las inundaciones. Por tanto, las especies vegetales que los habitan deben presentar múltiples mecanismos de reproducción para asegurar su permanencia, entre ellos, procesos que retarden la germinación (dormancia/latencia), o que faciliten la rápida colonización del hábitat (viviparismo/amplia capacidad germinativa).

De acuerdo con los modelos teóricos que se han elaborado a escala global, se presupone que el número de especies con estrategias de aplazamiento de la germinación (dormancia seminal) aumente en los ambientes no favorables con relación a las especies que ocupan hábitats benignos (Baskin, Baskin, 2005, Jurado, Flores, 2005). Sin embargo, también se conoce que estos estudios (a nivel global) no permiten concluir, con precisión, sobre los procesos que intervienen en el ensamblaje de las comunidades locales (Baskin, Baskin, 2014, Sánchez et al., 2015).

De hecho, las pocas contribuciones de ecofisiología de la germinación que se han realizado para especies del ESC (Muñoz et al., 2012a, 2012b, Sánchez et al., 2014) demuestran la presencia de especies de germinación rápida (sin dormancia seminal), con dormancia seminal, requerimiento de luz e indiferentes al hábitat (Tab. 2), es decir, bien adaptadas a las condiciones ambientales que existen cuando sus semillas o propágulos<sup>10</sup> son dispersados y llegan al sustrato. Sin embargo, queda por demostrar cómo será el comportamiento de la dormancia a nivel de comunidad para cada una de las formaciones vegetales que lo componen.

Aunque un análisis preliminar de la dormancia en las familias botánicas con bajo y alto número de endemismos del ESC, muestra que la dormancia seminal está presente en casi todas las familias (Tab. 3), siendo la clase de dormancia fisiológica la de mayor frecuencia, tal como se ha informado para todos los tipos de vegetación y formas de vidas (árboles, arbustos, enredaderas y las hierbas) de las zonas tropicales/subtropicales de todo el mundo (Baskin, Baskin, 2005). Recientemente, también se ha notificado que es la más frecuente en las angiospermas (plantas con flores) y tipos de vegetación de la tierra (Baskin, Baskin, 2014).

Por otra parte, la presencia de dormancia en la mayoría de las familias botánicas del ESC no contradice la hipótesis (o modelos) de encontrar dormancia en ambientes desfavorables. La severidad del ambiente en algunas regiones del archipiélago cubano hace que predomine el matorral xeromorfo costero como la vegetación más característica; por ende, deberán aparecer una

gran proporción de especies endémicas (sobre todo arbustos) con diferentes mecanismos de dormancia seminal, debido a la presión de selección a la cual estuvieron sometidas durante su evolución (en regiones áridas del América del Sur) y su adaptación al ambiente cubano (Sánchez et al., 2011). De hecho, la familias botánicas a las cuales pertenecen la mayoría de los árboles cubanos (Euphorbiaceae, Myrtaceae y Rubiaceae) pueden presentar semillas sin dormancia, o bien con dormancia fisiológica y morfofisiológica (Baskin, Baskin, 2005, Sánchez, 2012).

Igualmente, el ascenso del nivel medio del mar pronosticado para Cuba, en combinación con una sequía más pronunciada, podría incrementar los niveles de salinidad del sustrato y con esto afectar la respuesta germinativa de especies vegetales cubanas típicas del ESC; incluso para aquellas que frecuentemente sus semillas pueden enfrentar la salinidad, como sucede con la yana (*Conocarpus erectus*) (Muñoz, Sánchez, 2006).

Los ensayos exploratorios sobre los posibles efectos de la salinidad sobre la germinación y el establecimiento de las plantas nativas cubanas son muy escasos. Hasta donde conocemos, solo existen tres contribuciones que abordan dichos aspectos: dos sobre la germinación de la yana (Muñoz et al., 1994, Muñoz, Sánchez, 2006) y una sobre el establecimiento de plántulas de *Amaranthus minimus*, hierba postrada endémica y en peligro crítico de extinción (González-Oliva, 2010).

<sup>10</sup> Propágulos: estructuras que sirven para propagar o multiplicar vegetativamente una planta.

Especie	Nombre común	Familia	Temperatura óptima germinación (°C)	Exigencia luz	Clase de dormancia
Adelia ricinella	Jía blanca	Euphorbiaceae	25/40	L=D	PD
Alchornea latifolia	Aguacatillo	Euphorbiaceae	25/30	L>D	PD
Allophylus cominia	Palo de caja	Sapindaceae	25	L=D	PD
Andira inermis	Yaba	Fabaceae	25/35	L=D	PD
Avicennia germinans	Mangle prieto	Acanthaceae	25/40	L=D	ND



Especie	Nombre común	Familia	Temperatura óptima germinación (°C)	Exigencia luz	Clase de dormancia
Calophyllum brasiliense	Ocuje	Clusiaceae	25/30	L=D	PD
Casasia clusiaefolia	Jagua amarilla	Rubiaceae	25	L>D	MPD
Casearia guianensis	Jía amarilla	Salicaceae	25/30	L=D	ND
Casearia sylvestris	Sarnilla	Salicaceae	25/30	L>D	PD
Cassine xylocarpa	Mate prieto	Celastraceae	25/35	L>D	PD
Cecropia peltata	Yagruma	Urticaceae	25/35	L	ND
Ceiba pentandra	Ceiba Icaco	Malvaceae	25/35	L=D	PD
Chrysobalanus icaco	Caimitillo	Chrysobalanaceae	25/30	L>D	PD
Chrysophyllum cainito	Ateje de costa	Sapotaceae	25/30	L=D	ND
Citharexylum spinosum	Moruro rojo	Verbenaceae	25/35	L>D	PD
Cojoba arborea	Bijáguara	Fabaceae	25	L=D	ND
Colubrina arborescens	Yana	Rhamnaceae	25/35	L=D	PD
Conocarpus erectus	Ateje amarillo	Combretaceae	25/35	L=D	ND
Cordia alba	Ateje	Boraginaceae	25/35	L=D	PD
Cordia collococca		Boraginaceae	25/35	L=D	PD
Cupania americana	Guara común	Sapindaceae	25/30	L=D	PD
Cupania glabra	Guara de costa	Sapindaceae	25/30	L=D	PD
Dendrocereus nudiflorus*	Aguacate cimarrón	Cactaceae	25/30	L	ND
Dendropanax arboreus	Vibona	Araliaceae	25/35	L=D	MD, MPD
Diospyros haesioides *	Ébano blanco	Ebenaceae	25/30	L>D	PD
Ehretia tinifolia	Roble prieto	Boraginaceae	25/35	L	PD
Eugenia farameoides	-----	Myrtaceae	25/35	L=D	PD
Ficus aurea	Ficus	Moraceae	25/30	L>D	PD
Guarea guidonia	Yamao	Meliaceae	25/30	L=D	ND
Guazuma ulmifolia	Guásima	Malvaceae	25/35	L=D	PY
Hibiscus elatus	Majagua	Malvaceae	25/35	L=D	PD, PY, PD+PY
Lysiloma sabicu	Sabicú	Fabaceae	25/35	L=D	PY
Muntingia calabura	Capulí	Elaeocarpaceae	25/35	L	ND
Nectandra coriacea	Cigua	Lauraceae	25/30	L=D	PD
Oxandra lanceolata	Yaya	Annonaceae	25	L=D	MPD
Picramnia pentandra	Aguedita	Simarubaceae	25	D	PD
Poeppigia procera	Tengue	Fabaceae	25/35	L=D	ND
Pouteria dominigensis	Sapote	Sapotaceae	25/30	L=D	ND
Prunus myrtifolia	Cuajaní hembra	Rosaceae	25/30	L=D	ND
Pseudolmedia spuria	Macagua	Moraceae	25/30	L=D	PD
Psychotria grandis	Tapa camino	Rubiaceae	25/30	D>L	PD
Sideroxylon foetidissimum	Jocuma	Sapotaceae	25/40	L=D	PD

Especie	Nombre común	Familia	Temperatura óptima germinación (°C)	Exigencia luz	Clase de dormancia
Simaruba laevis	Gavilán	Simarubaceae	25/30	L=D	PD
Thrinax radiata	Guano de costa	Arecaceae	25/30	L=D	MD, MPD
Trema micrantha	Capulí cimarrón	Ulmaceae	25/40	L	ND
Trichilia havanensis	Siguaraya	Meliaceae	25/30	L=D	ND
Trichilia hirta	Cabo de hacha	Meliaceae	25/30	L=D	ND

Tabla 2. Requerimientos germinativos y clases de dormancia de especies nativas del ESC. Fuente: Muñoz *et al.* (2012a) y Sánchez *et al.* (2014).

\*endemismos cubanos

Simbología: L, germina solo a la luz; D, germina solo a la oscuridad; L=D, germina igual a la luz que a la oscuridad; L>D, germina mejor a la luz que a la oscuridad; D>L, germina mejor a la oscuridad que a la luz; ND, no dormancia; PY, dormancia física; PD, dormancia fisiológica; PD+PY, combinación de dormancia; MD, dormancia morfológica; MPD, dormancia morfofisiológica.

Familia botánica	Clase de dormancia	Familia botánica	Clase de dormancia
Familias con pocas especies y elevado endemismo		Familias con muchas especies y bajo endemismo	
Bignoniaceae	ND, PD, PY	Asteraceae	ND, PD
Clusiaceae	ND, PD	Boraginaceae	ND, PD, MPD
Ebenaceae	ND, PD	Convolvulaceae	ND, PY
Geotzceae	ND, PD	Cyperaceae	ND, PD
Lythraceae	ND, PD	Malpighiaceae	ND, PD
Loranthaceae	ND, PD	Malvaceae	ND, PD, PY, PD+PY
Polygonaceae	ND, PD	Orchidaceae	MPD
Polygalaceae	ND, PD	Poaceae	ND, PD
Theophrastaceae	No hay información	Sapindaceae	ND, PD, PY, PD+PY
		Sapotacea	ND, PD
		Verbenaceae	ND, PD

Tabla 3. Posibles clases de dormancia seminal (o no dormancia) de algunas familias botánicas del ESC. Fuente: elaboración de los autores con base a la clasificación de Baskin, Baskin, 2014.

Simbología: ND: no dormancia; PY, dormancia física; PD, dormancia fisiológica; PD+PY, combinación de dormancia, MD, dormancia morfológica, MPD, dormancia morfofisiológica.

## Recomendaciones para la reproducción en vivero de especies del ESC

- Colectar semillas maduras directamente de la planta madre.
- Realizar pruebas de germinación y de emergencia de plántulas con semillas frescas.
- Determinar previo a la siembra la viabilidad inicial de los lotes por la prueba de cortes de las semillas, para comprobar la presencia de embriones vigorosos.
- Realizar ensayos de vivero en condiciones ambientales muy similares a la que aparecen cuando las semillas son dispersadas en condiciones naturales.
- Si las semillas son recalcitrantes, realizar la siembra en lugares húmedos y sombreados.
- La unidad de dispersión (semilla/fruto) debe someterse a tratamientos de escarificación (mecánica total o parcial) si presenta una cubierta dura. Este tratamiento pregerminativo podría eliminar dormancia física y fisiológica, y por tanto acelerar la germinación y establecimiento de plántulas.

## La ecofisiología como base del desarrollo de ecotecnologías

El conocimiento de la ecofisiología vegetal no solo nos permite entender el funcionamiento de las plantas y sus posibles respuestas ante diferentes condiciones ambientales; sino que sobre la base de este conocimiento ecofisiológico se fundamentan la mayoría de las ecotecnologías propuestas para la ecorestauración de los paisajes tropicales (por ejemplo, los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas, los inóculos de hongos micorrízicos, etc.). Ellas siguen los pasos de la naturaleza, solo que a mayor velocidad, permitiendo de esta forma la reparación acelerada de los ecosistemas y de los servicios que prestan a la salud del medio ambiente, y en particular al hombre.

Por definición, las ecotecnologías son el uso de medios tecnológicos para el manejo de los organismos y ecosistemas, basados en un conocimiento profundo de los principios en los cuales se fundamentan los sistemas ecológicos naturales y la transferencia de este conocimiento hacia su manejo en forma

• Cuando no exista información sobre las condiciones para la germinación de una especie en particular se deben emplear diferentes variantes térmicas y lumínicas que simulen el ambiente. Tres condiciones básicas son:

1. Área con plena exposición solar donde exista un máximo de alternancia de temperatura y de iluminación.
2. Área semiprotegida donde la amplitud del termoperíodo sea moderada. Esta variante puede lograrse mediante el tapado con ramas de árboles. Las variantes térmicas a obtener bajo dicha condición estarán determinadas por el tipo de rama a emplear y por las condiciones que se deseen simular en dependencia de los requerimientos de las especies a reproducir.
3. Área sombreada, con muy baja fluctuación diaria de temperatura y baja iluminación. Se debe escoger un sitio bajo la sombra natural de vegetación arbórea donde la temperatura se mantenga lo más estable posible durante el día.

tal que los daños causados al ambiente sean minimizados. Por tanto, muchas de las ecotecnologías se especializan en la aplicación de procesos biológicos para la protección y restauración de la calidad del ambiente. Estas ecotecnologías se caracterizan, además, por crear procesos, productos y servicios menos contaminantes y más seguros.

El empleo de ecotecnologías con semillas en los planes de restauración ecológica también contribuirá de forma importante a mitigar los efectos del Cambio Climático Global, pues asegura la germinación, el establecimiento y el rápido crecimiento de las plantas bajo diversas condiciones ambientales (Herrera et al., 1997, Sánchez et al., 2011). Sin embargo, para ello hay que tener un conocimiento primario sobre los siguientes aspectos de la biología de la semilla en las plantas nativas cubanas:

- Disponibilidad de semillas para la restauración ecológica.
- Tiempo y forma de dispersión.
- Requerimientos germinativos en cuanto a luz, temperatura y humedad.

- Clases de dormancia seminal.
- Tratamientos pregerminativos óptimos para incrementar germinación y eliminar dormancia.
- Tipo de banco de semillas.
- Papel del tamaño seminal en la dispersión, germinación, dormancia y vigor de la plántula.

Estos procesos biológicos apenas se conocen para las especies tropicales, ni siquiera en aquellas de interés económico que han sido ampliamente explotadas. Por tanto, si se quiere diversificar el número de especies nativas empleadas en los proyectos de restauración ecológica y aumentar el éxito en la reconstrucción de paisajes tropicales y conservación del patrimonio vegetal, será imprescindible conocer sus mecanismos de regeneración (en particular la ecofisiología de germinación), para luego intentar domesticar las especies (es decir, crear tecnologías ecológicas para su reproducción en viveros).

## Los desafíos de la investigación aplicada al desarrollo forestal

La ocurrencia simultánea de estrés hídrico, lumínico y térmico en muchos ecosistemas cubanos y las correlaciones encontradas en las respuestas ecofisiológicas de las plantas hace que sean necesarios estudios experimentales con diseños factoriales en condiciones naturales, o al menos realistas en laboratorio, para comprender los efectos de cada uno o de la combinación de factores sobre las semillas y plántulas. Estos ensayos deberán contener, además, los resultados de las corridas de los modelos climáticos para Cuba, los cuales podrán estar incluidos dentro del gradiente ambiental tradicionalmente ensayado, o bien superar los mismos. Solo así se podrá estimar o predecir los verdaderos impactos del Cambio Climático sobre los mecanismos de regeneración de las plantas nativas cubanas. Igualmente, el conocimiento de los mecanismos de resistencia al estrés puede hacer posible la utilización de especies sensibles como bioindicadoras de estrés al Cambio Climático.

El empleo de ecotecnologías en los planes de restauración ecológica podría contribuir de forma importante a mitigar

los efectos del Cambio Climático. Sin embargo, la utilización de tecnologías ecológicas en proyectos de revegetación de sitios del Neotrópico es muy escasa, al igual que los estudios de biología de la semilla. Por tanto, es necesario incrementar nuestros conocimientos sobre la autoecología de cada especie para asegurar su reproducción exitosa, y con esto, la conservación in situ del patrimonio vegetal cubano, con sus bienes y servicios ecosistémicos.

Necesariamente, se deben priorizar dichos estudios en las especies endémicas amenazadas (fundamentalmente arbustos, que es la principal forma de vida que prevalece en nuestro territorio), y deben comenzar con la caracterización de las semillas, que es la base para el conocimiento de la biología seminal. También conviene determinar los requerimientos germinativos de cada especie en un amplio escenario ambiental y multifactorial, clases de dormancia, mecanismos de dispersión, bancos de semillas/plántulas, fenología de la germinación en condiciones naturales, conservación de germoplasma, etc.

Por último, para asumir en mejores condiciones el reto al cual nos enfrentamos es preciso que el país invierta en la formación de personal especializado y en la creación de capacidades. Estas dos ramas, junto con la voluntad del estado cubano, asegurarían la conservación y el manejo de los ecosistemas para las generaciones del presente y el futuro.

## Bibliografía

Álvarez, A., Castillo, E., Hechavarría, O. (2006). Especies Protegidas por la Ley Forestal de Cuba. La Habana: Instituto de Investigaciones Forestales.

Baskin, C.C., Baskin, J.M. (2005). Seed dormancy in trees of climax tropical vegetation types. *Tropical Ecology*, 46, 17-28.

Baskin, C.C., Baskin, J.M. (2014). *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*. San Diego, CA. USA: Academic/Elsevier.



Baskin, J.M., Baskin, C.C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14, 1-16.

Baskin, J.M., Baskin, C.C. (2007). A revision of Martin's seed classification system, with particular reference to his dwarf-seed type. *Seed Science Research*, 17, 11-20.

González-Oliva, L. (2010). Bases ecológicas para la conservación de la especie amenazada *Amaranthus minimus* (Amaranthaceae). Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. Facultad de Biología, Universidad de La Habana.

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.

Jurado, E., Flores, J. (2005). Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits? *Journal of Vegetation Science*, 16, 559-564.

Menéndez, L., Guzmán, J.M. (2007). Estado de los ecosistemas terrestres de los cayos. En P. Alcolado, E.E. García, M. Arellano-Acosta (Eds.) *Ecosistema Sabana Camagüey: Estado actual, avances y desafíos de la protección y uso sostenible de la biodiversidad* (pp. 57-61). La Habana: Editorial Academia.

Menéndez, L., Herrera, P., Oviedo, R., Guzmán, J.M. (2007). Flora terrestre. En P. Alcolado, E.E. García, M. Arellano-Acosta (Eds.), *Ecosistema Sabana Camagüey: Estado actual, avances y desafíos de la protección y uso sostenible de la biodiversidad* (pp. 21-25). La Habana: Editorial Academia.

Montejo, L., Muñoz, B.C., Sánchez, J.A., Gamboa, A. (2014). Variabilidad seminal entre las especies de un bosque siempreverde tropical de la Sierra del Rosario, Cuba. *Bosque*, 31, 37-47.

Muñoz, B.C., Orta, R., Calvo, E. (1994). Potencial germinativo de semillas de *Conocarpus erectus* L.I. Efecto de la salinidad y temperatura del sustrato. *Ciencias Biológicas*, 26, 88-94.

Muñoz, B.C., Sánchez, J.A. (2006). Efectos de la variación seminal y la salinidad sobre la germinación de *Conocarpus erectus* L. En L. Menéndez, J. M. Guzmán (Eds.) *Ecosistemas de manglar en el Archipiélago cubano* (pp. 136-143). La Habana: Editorial Academia.

Muñoz, B.C., Sánchez, J.A., Montejó, L., Herrera, P., Gamboa, A. (2012a). Guía técnica para la reproducción de especies arbóreas pioneras. La Habana: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Instituto de Ecología y Sistemática.

Muñoz, B.C., Sánchez, J.A., Montejó, L., Herrera, P., Gamboa, A. (2012b). Reproducción de plantas nativas y naturalizadas del ecosistema Sabana-Camagüey. La Habana: Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, Instituto de Ecología y Sistemática.

Poorter, L., Rose, S. (2005). Light-dependent changes in the relationship between seed mass and seedling traits: a meta-analysis for rain forest tree species. *Oecologia*, 142, 378-387.

Sánchez, J.A. (2012). Ecofisiología de semillas y plántulas de árboles y arbustos de la Sierra del Rosario. Informe Final de Proyecto, Programa Diversidad Biológica (DB-032). La Habana: Instituto de Ecología y Sistemática, Agencia de Medio Ambiente.

Sánchez, J.A., Montejó, L., Gamboa, A., Albert-Puentes, D., Hernández, F. (2015). 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., Gamboa, A., Guzmán, J. (2014). Características ecofisiológicas de semillas del Ecosistema Sabana-Camagüey, Cuba (Inédito).

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

Sánchez, J.A., Muñoz, B.C., Montejó, L., Herrera, R.A. (2009b). Ecological grouping of tropical trees in an evergreen forest of the Sierra del Rosario, Cuba. *Acta Botánica Cubana*, 204, 14-23.

Sánchez, J.A., Muñoz, B.C., Montejó, L., Lescaille, M., Herrera, R. A. (2011/2012). Tamaño y nutrientes de semillas en 32 especies arbóreas de un bosque tropical siempreverde de Cuba y su relación con el establecimiento de las plántulas. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 32/33, 181-204.

Sánchez, J.A., Suárez, A.G., Montejó, L., Muñoz, B.C. (2011). El cambio climático y las semillas de las plantas nativas cubanas. *Acta Botánica Cubana*, 214, 38-50.

Valladares, F. (2004). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF.

Westoby, M., Falster, D. S., Moles, A., Vesk, P. A., Wright, I. J. (2002). Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 33, 125-159.

