

El cambio climático y las semillas de las plantas nativas cubanas

Climate change and the seeds from the cuban native plants

Jorge A. SÁNCHEZ RENDÓN*, Avelino G. SUÁREZ RODRÍGUEZ*,
Laura MONTEJO VALDÉS* y Bárbara C. MUÑOZ GARCÍA*

RESUMEN. La literatura científica avala la afirmación que el calentamiento del sistema climático ocasionado por la emisión de gases de efecto invernadero de origen antropogénico es inequívoco. Las observaciones realizadas evidencian que en todos los continentes diversos sistemas naturales y humanos se están afectando por el Cambio Climático antropogénico. En el presente trabajo, se reflexionó sobre los posibles efectos del Cambio Climático en los mecanismos de regeneración de las plantas nativas cubanas, con énfasis en la biología de la semilla. Para ello, se realizó una revisión de la literatura existente en Cuba sobre dichos aspectos. Se resaltó el papel del conocimiento de rasgos morfofisiológicos de las semillas y de la ecofisiología de la germinación en proyectos de restauración ecológica en un ambiente cambiante, y el potencial de dichos estudios para evaluar los efectos del cambio y la variabilidad climática. También se exponen los principales resultados obtenidos en nuestro país con la aplicación de los tratamientos robustecedores de semillas y sus efectos en especies arbóreas y arbustivas nativas bajo condiciones ambientales extremas. Se concluye, que en Cuba se conoce muy poco sobre los requerimientos germinativos, tipos de dormancia y otros atributos morfofisiológicos de las semillas de especies nativas; y menos aún, de cómo dichos rasgos seminales se relacionan con el establecimiento de las plántulas y el Cambio Climático. En cambio, los resultados obtenidos en Cuba con los tratamientos robustecedores de semillas se pueden considerar pioneros a nivel mundial, aunque valiosas contribuciones se han realizados en otros sitios tropicales. Tanto la ecofisiología de la germinación como la morfología de las semillas y los tratamientos robustecedores de las mismas pueden constituir instrumentos muy útiles para la adaptación y la mitigación al Cambio Climático.

PALABRAS CLAVE. Cambio Climático, semillas, regeneración, mitigación, adaptación bosques tropicales

ABSTRACT. The scientific literature assessed the unequivocal warming of the climatic system due to the anthropogenic emission of greenhouse gasses. Current observational evidence from all continents shows that many natural and human systems are being affected by anthropogenic climate change. In our publication, we analyse the possible impacts of climate change on the regeneration strategies (mechanisms) of the Cuban native plants, with emphasis on the seed biology. We assessed all the available Cuban literature on the subject. The review literature highlights the important role of the seed morphological characteristics and the seed eco-physiological studies for any new ecological restoration project for a future changing environment. We discuss the results of Cuban native tree and shrub seed hardening treatments at different extreme environmental conditions. Our review highlights the current knowledge gap on the native seeds: seed germination requirements, dormancy types, characteristics morphological features, and their relationship with the seedling establishment and possible Climate Change impacts. The Cuban experience on tree and shrubs seed hardening treatments was pioneer for the tropical conditions, although valuable contributions have accomplished at other places. The seed ecophysiology and morphology and the seed hardening treatments would be useful instruments for the adaptation and mitigation of Climate Change.

KEY WORDS. Climate Change, seeds, regeneration, mitigation, adaptation, tropical forest.

INTRODUCCIÓN

Muchos estudios científicos han resaltado la vulnerabilidad de los bosques tropicales y otros ecosistemas a los efectos adversos del Cambio Climático y de la variabilidad climática. Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC, siglas del inglés), el calentamiento del sistema climático es inequívoco, la principal causa del Cambio Climático es la quema de los combustibles fósiles que emiten gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono. Se considera que el factor antropogénico ha sido determinante en el Cambio Climático (IPCC, 2007a), La deforestación y el cambio en el uso de la tierra, son otras fuentes fundamentales de emisiones de carbono (IPCC, 2007b), dado que la vegetación actúa como “sumidero” que absorbe y almacena carbono.

La pérdida de los bosques tropicales se debe principalmente, en países en vías de desarrollo, al círculo vicioso del crecimiento poblacional y la pobreza persistente (Aide y Grau, 2004). También como agravante de la deforestación, desde hace algunos años, se reconocen el papel de la fragmentación y la degradación del hábitat como actores principales de los cambios en la estructura y función de los ecosistemas (Vales *et al.*, 1998; Cayuela, 2006; Capote *et al.*, 2011). En América Latina y el Caribe los suelos que sostienen

formaciones boscosas todavía continúan disminuyendo, con la consiguiente pérdida de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos (FAO, 2011), siendo las causas fundamentales de la deforestación el cambio de uso de la tierra (para usos agrícolas y la siembra de pastos) y la acelerada urbanización. La mayor pérdida de la cobertura boscosa tiene lugar en América Central, y se reconoce un incremento de las áreas boscosas en Chile, Costa Rica y Uruguay (FAO, 2011). Por otra parte, los países de esta región no tienen una posición única frente al Cambio Climático, más bien, sostienen diferentes puntos de vista, especialmente debido a sus diferencias geográficas, económicas y vulnerabilidad; no obstante, a pesar de las diferencias mencionadas, los países latinoamericanos y caribeños están siempre buscando una consolidación de su posición y estrategia común (PNUMA, 2003).

En Latinoamérica además, según Andrade (2005), existe un divorcio entre los fisiólogos y los forestales, y muchos investigadores que realizan estudios fisiológicos en los árboles no tienen una formación adecuada para interpretar los datos, por lo que se impone que se establezcan grupos multidisciplinarios de investigadores para dar una interpretación adecuada a los datos acerca del estado del bosque. Situación de la que no escapa Cuba, pero se presenta en menor escala, dado que los proyectos

Manuscrito recibido: 30 de Septiembre de 2011

Manuscrito aprobado: 20 de Noviembre de 2011.

*Instituto de Ecología y Sistemática, C. P. 11900, La Habana 19, Cuba.

de investigación-desarrollo tienen como premisa, la participación de múltiples instituciones para resolver la problemática ambiental.

A nivel del paisaje forestal, se prevé que el Cambio Climático afectará el funcionamiento, la estructura y la distribución de ecosistemas forestales, las especies constituyentes y los recursos genéticos (Locatelli, 2006). De hecho, ya se han observado cambios en poblaciones, en rangos de distribución, en composición, estructura y funcionamiento de los ecosistemas debido a la variabilidad y cambios del clima (McCarty, 2001). Los cambios de temperaturas y precipitaciones (promedios anuales y distribución durante el año), de frecuencia e intensidad de eventos extremos (sequías e inundaciones) y tormentas tropicales pueden influir directamente sobre el funcionamiento del ecosistema, por ejemplo sobre los periodos de floración y fructificación, la germinación y la supervivencia de las plántulas, y en el incremento de la herbivoría y las densidades de patógenos y depredadores (Tilman y Lehman, 2001; Sánchez *et al.*, 2003a; Locatelli, 2006). El Cambio Climático también, podría crear condiciones favorables (i.e., nuevos hábitats) para la expansión de las especies exóticas invasoras (Kirilenko *et al.*, 2000; Cayuela, 2006).

Por otra parte, aunque se conoce de forma general como los factores abióticos y bióticos se relacionan con la capacidad de regeneración de plantas procedentes de ecosistemas naturales (Fenner, 2000; Valladares, 2004; Baskin y Baskin, 2005; Engelbrecht *et al.*, 2005; Jurado y Flores, 2005), poco se ha estudiado sobre este tema en ecosistemas forestales del Neotrópico y sólo algunas valiosas contribuciones se han obtenido en países de América Central, como Costa Rica, México o Panamá (ver e.g., Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993; Coley, 1998; Dalling *et al.*, 2004; Sautu *et al.*, 2007). Tampoco se ha discutido mucho sobre la vulnerabilidad de los mecanismos de regeneración de las plantas a la variabilidad ambiental, principalmente climática. En Cuba, se han estudiado posibles efectos del Cambio Climático sobre los manglares y algunos ecosistemas costeros (Menéndez *et al.*, 2008; Capote *et al.*, 2011), y se reconoce que el Cambio Climático antropogénico y la fragmentación del hábitat están entre las principales amenazas para la diversidad biológica cubana (Vales *et al.*, 1998; CITMA, 2009), pero la información que existe sobre los mecanismos de regeneración de las plantas nativas es muy escasa, y en muchos casos, la que consta es muy elemental. Esto último, sin dudas, compromete la permanencia de la flora autóctona cubana en los ecosistemas naturales, dado que no existe una valoración cuantitativa sobre su capacidad de regeneración diferencial frente al estrés ambiental inducido por el Cambio Climático. Igualmente, el conocimiento de la ecofisiología de la germinación y del crecimiento de las plántulas no sólo es vital para entender los procesos de reclutamiento de las plantas y la sucesión vegetal sino que además, nos permite desarrollar estrategias para la conservación de la biodiversidad y la restauración de los bosques tropicales.

Por tanto, los objetivos del presente trabajo son: 1) realizar una revisión de la literatura existente sobre la biología de la semilla de las plantas nativas cubanas (con énfasis en la ecofisiología de la germinación), 2) mostrar cómo el Cambio Climático pueden afectar los mecanismos de regeneración de las plantas y 3) exponer cómo el conocimiento de la ecofisiología de la germinación puede ser una herramienta

eficaz para evaluar el comportamiento de las plantas frente al Cambio Climático (adaptación y mitigación) y mejorar el funcionamiento de las semillas y plántulas bajo condiciones ambientales extremas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Como información básica, para compilar investigaciones sobre semillas de plantas nativas, se revisaron todas las publicaciones científicas cubanas donde podrían aparecer contribuciones sobre la biología de la semilla o mecanismos de regeneración de las plantas nativas cubanas. Esta revisión incluyó revistas seriadas (certificadas o no) relacionados con las ciencias naturales y exactas (e.g., Acta Botánica Cubana, Revista del Jardín Botánico Nacional) y aquellas relacionadas con ciencias aplicadas y tecnológicas (e.g., Revista Forestal Baracoa, Pastos y Forrajes). También se revisaron las principales obras científicas (libros) referentes al tema y publicadas en nuestro país, fundamentalmente en el periodo revolucionario (Fors, 1967; Samek, 1974; Betancourt, 1987; Herrera *et al.*, 1988a; Álvarez *et al.* 2006; Menéndez y Guzmán, 2006) y el Manual de Semillas Forestales (Anónimo, 1983). Otras obras consultadas por su relevancia para el tema fueron: informes finales de proyectos, tesis de doctorado y de maestría.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Estado del conocimiento de la biología de la semilla en Cuba. La obra elaborada por Fors (1967) “Manual de Silvicultura” puede considerarse el primer documento que compiló alguna información científica sobre semillas y mecanismos de regeneración de especies maderables cubanas y exóticas (33). Esta obra, recoge información valiosa sobre silvicultura tropical, pero el mismo autor reconoce que no hay casi conocimiento sobre los mecanismos de regeneración de las especies cubanas, inclusive de aquellas que fueron tratadas por él. Posteriormente, Samek (1974) reunió información sobre silvicultura de los bosques latifolios tropicales (aplicable a las condiciones cubanas), sin abordar aspectos de la silvicultura especial, sólo trató de forma muy general tópicos de siembra y de semillas. Sin dudas, los primeros resultados relevantes sobre el tema de biología de la semilla se ofrecieron en el Manual de Semillas Forestales (Anónimo, 1983) creado por un colectivo de autores de la Facultad de Ingeniería Forestal de la provincia de Pinar del Río y en la obra de Betancourt (1987) “Silvicultura especial de árboles maderables tropicales”. En ambas contribuciones, se aportan numerosos elementos sobre aspectos prácticos de las semillas, fundamentalmente aquellos relacionados con la fenología de producción de frutos, recolección y manipulación de las semillas, reproducción en vivero, etc. Estas compilaciones también, incluyeron gran número de especies procedentes de familias típicas del Caribe y especies exóticas; pero la información que abordaron sobre mecanismos de regeneración fue muy pobre y descriptiva, no se sustentaron en evidencias experimentales. Además, presentaron múltiples errores en aspectos biológicos; por ejemplo, en la definición de tipos de dormancia/latencia, tipos de frutos y tratamientos pregerminativos más adecuados para incrementar la germinación en vivero. Tampoco, y como era de esperar, dado el contexto histórico en que se realizaron, no mencionaron los posibles efectos del Cambio Climático y/o variabilidad del

clima en la germinación y supervivencia de las plántulas; aunque cabe señalar que para algunas de las especies tratadas por Betancourt (1987) se ofrecen a grandes rasgos las condiciones climáticas más adecuadas para el desarrollo de las plantas. Estos libros han sido y son de gran utilidad para técnicos e investigadores forestales; pero revelan el estado incipiente que tiene el conocimiento de la biología de la semilla en nuestro país.

Este vacío de información comenzó a tratarse con los trabajos realizados por el grupo de semillas del Instituto de Investigaciones Forestales de Cuba. Las contribuciones más valiosas fueron las realizadas por la fisióloga cubana Aila Peña y sus colaboradores (Castillo, 1981; Álvarez y Peña, 1984; Peña, 1984; Peña y Montalvo, 1986). Ellos, no solo estudiaron aspectos prácticos que podrían afectar la germinación, sino también rasgos de la fisiología de la semilla y su interacción con el ambiente. Desafortunadamente, estos estudios, con plantas nativas cubanas, en su mayoría nunca se publicaron y sólo abarcaron una pequeña cantidad de especies.

Por otra parte, los trabajos realizados por Menéndez *et al.* (1985), Menéndez y Vilamajó (1988) y Herrera *et al.* (1988b) en bosques tropicales siempreverdes de la Sierra del Rosario son las primeras contribuciones, en nuestro país, que verdaderamente trataron aspectos de regeneración en condiciones naturales. La contribución de Menéndez y Vilamajó (1988) fue el primer trabajo sobre banco de semillas realizado en Cuba; en ella, se obtuvieron resultados semejantes a los obtenidos en otras regiones tropicales, evidenciándose la importancia del banco de semillas para la regeneración natural de las plantas arbóreas y arbustivas; aunque no se determinó la viabilidad de las semillas en el suelo ni se realizaron estudios de fenología de la germinación, algo que limita las conclusiones alcanzadas. La información ofrecida por Herrera *et al.* (1988b) sobre regeneración de árboles también fue muy elemental, aunque fue la primera contribución científica que relacionó las estrategias de regeneración y competitivas de las plantas arbóreas cubanas con rasgos de semillas y plántulas. Seguidamente, Herrera *et al.* (1997, 2005) informaron para más de 200 especies arbóreas rasgos morfológicos y reproductivos de semillas, que separaron en cuatro categorías de orden sucesional (i.e., de forma cualitativa) y por hábitat de la especie (húmedo y seco-salino). Además dichos autores, identificaron que la variabilidad del tamaño seminal se asocia con la disponibilidad de luz del sustrato para el establecimiento de las plántulas. Posteriormente, Torres-Arias (2003) reunió un gran volumen de información sobre rasgos morfológicos de semilla/plántula para 100 especies forestales de acuerdo a su estrategia de regeneración o grupo funcional; la limitante fundamental de este resultado, es que las especies estudiadas proceden de diferentes formaciones vegetales distribuidas en diferentes regiones del país.

De acuerdo a lo ya comentado, la información sobre biología de la semilla, en particular sobre ecofisiología de la germinación, que existía en Cuba hasta finales de la década del noventa del pasado siglo, se concentra en unas pocas especies nativas de interés para plantaciones forestales (Anónimo, 1983); y aún hoy para 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 semillas y mecanismos de propagación, téngase en cuenta que sólo para 32 especies hay alguna información sobre la biología de

semilla, y 29 especies no se conocen como se propagan, de este grupo 19 son endemismos cubanos. Esta situación, es aún peor cuando analizamos que en Cuba hay más 6000 especies de plantas con flores y de ellas, más de la mitad (3409) son endemismos, que sobre su total representa un 52.4% de endemidad (CITMA, 2009), y que por demás muchos están en ecosistemas muy frágiles y sometidos a altas tensiones climáticas. Por tanto, se evidencia que en nuestro país los estudios de biología de la semilla, y en particular de ecofisiología de la germinación de especies nativas, es un sector de la ciencia ecológica y forestal que aún no se ha desarrollado, tal como sucede en la mayoría de los países subdesarrollados o del Tercer Mundo. Para la flora cubana además, sólo se conocen los mecanismos de germinación/dormancia de menos de 50 especies endémicas, lo que significa que la información existente sobre la biología de la semilla de los endemismos cubanos no alcanza siquiera el 2% con relación número total de endemismos de las plantas superiores.

Paralelamente a los trabajos ya comentados, un grupo de investigación del Instituto de Ecología y Sistemática (IES-CITMA) ha trabajado desde 1990 hasta el 2004 en investigaciones sobre ecofisiología de la germinación de un gran número de especies de ecosistemas agrícolas y naturales cuyos mecanismos de germinación/dormancia se desconocían, o bien existía muy poca información. También, ha investigado en temáticas relacionadas con el establecimiento de patrones morfofuncionales de semillas, en la aplicación de técnicas de diagnóstico precoz al estrés (calor, sequía y salinidad) y en la aplicación de tratamientos pregerminativos de tipo fisiológico (hídricos, choques térmicos y ácidos) para mejorar el funcionamiento de las semillas y plantas en distintos escenarios ambientales. La mayoría de los resultados obtenidos, por este grupo de investigación, se han publicados en revistas nacionales e internacionales, dando lugar a propuestas o metodologías de investigación como la que se muestra en la Figura 1 (Sánchez *et al.*, 2004). Esta propuesta de investigación pretende evaluar cómo los diferentes factores del ambiente (bióticos y abióticos) actúan sobre la germinación y el establecimiento de las plántulas, pero también propone salidas tecnológicas para mejorar el comportamiento de las plantas frente a diferentes condiciones de estrés o variabilidad climática. En la actualidad, el grupo de semillas del IES trabaja en las siguientes líneas de investigación: 1) caracterización de rasgos morfofisiológicos, requerimientos germinativos y clases de dormancia seminal de especies de ecosistemas naturales (e.g., bosques tropicales húmedos y secos); 2) estudio de longevidad seminal potencial y su relación con rasgos seminales; 3) papel del heteromorfismo seminal en la germinación, la dormancia, la dispersión y el vigor de las plántulas; 4) aplicación de tratamientos robustecedores de semillas (e.g., hidratación-deshidratación) para incrementar la germinación y el establecimiento de especies de interés en proyectos de restauración ecológica; y 5) establecimiento de grupos funcionales de plantas arbóreas y arbustivas con sólo atributos de semillas y plántulas.

Todas estas líneas de investigación tienen como propósito fundamental caracterizar los mecanismos de regeneración de la comunidad vegetal de especies nativas cubanas, en particular en aspectos de semillas y plántulas; pero también evidencian los mecanismos de adaptación de las plantas, con relación al hábitat que ocupan, y su comportamiento frente

una amplia variabilidad climática (temperatura, agua, luz, etc.). Esta variabilidad, en particular la relacionada con la sequía, ya se ha constatado en Cuba desde la década del 60 del pasado siglo (Pichs, 2008), y coincide con los resultados de los modelos climáticos globales, que apuntan hacia un aumento de la duración e intensidad de las sequías durante el siglo XXI, lo que implicará no sólo menor precipitación anual, sino también un patrón de distribución estacional diferente. (IPCC, 2007a,b). Además, la disponibilidad real de agua para las plantas disminuirá durante el siglo XXI, debido al incremento de la evapotranspiración como consecuencia del incremento de temperatura (IPCC, 2007a). Un aumento modelado entre 2-4°C de la temperatura media para mediados del siglo XXI conllevará un incremento de la evapotranspiración de 200-300 mm, el cual agravará la sequía y comprometerá la supervivencia de las formaciones vegetales que ya se encuentren en sus límites de posibilidades hídricas (Valladares, 2004). Para Cuba, los modelos climáticos proyectan que el clima futuro podría tener las siguientes características: 1) incremento de la temperatura media anual del aire entre 1.6°C y 2.5°C para el 2100; 2) incertidumbre en el régimen de precipitaciones; 3) intensificación y expansión de procesos de aridez y sequía por elevación de la temperatura y la evaporación; y 4) ascenso del nivel del mar, entre 8 y 27 cm, en el 2050 y hasta 59 cm al 2100 (Martínez *et al.*, en prensa). Este Cambio Climático antropogénico, sin dudas afecta y afectará la regeneración de las plantas tropicales, sobre todo de aquellas amenazadas de extinción, y ha sido bien documentado en otras regiones del planeta (Valladares, 2004).

En Cuba, apenas se han documentado los efectos del Cambio Climático sobre la vegetación y menos sobre sus mecanismos de regeneración; por consiguiente, los estudios de ecofisiología de la germinación, de especies nativas, llevados por el grupo de semillas del IES son pioneros en el tema, tanto por la documentación de las respuestas especie-específica a la heterogeneidad ambiental, como a nivel de la comunidad vegetal (ver e.g., Muñoz *et al.*, 2001, 2004a,b; Montejó *et al.*, 2005a; Sánchez *et al.*, 2004, 2007a, 2009a). La reforestación ecológica con base en el conocimiento de la biología de la semilla de especies autóctonas y en la aplicación de ecotecnologías con semillas deberá contribuir de forma decisiva al establecimiento exitoso de nuevas áreas boscosas y con esto a la mitigación y adaptación al Cambio Climático. Por tanto, es necesario que en nuestro país se extiendan de forma acelerada los estudios de biología seminal de las plantas nativas, para así incrementar su conservación.

Aportes de la biología de la semilla en la investigación del Cambio Climático.

Los árboles tropicales producen semillas que muestran una amplia diversidad en: masas, formas, estructuras de dispersión, composición química, contenido de agua, naturaleza de las reservas, mecanismos de dormancia, y patrones de germinación y longevidad (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993; Daws *et al.*, 2005; 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 (Westoby *et al.*, 2002). De hecho, el ciclo natural de regeneración de las poblaciones de cualquier planta es una serie concatenada de procesos demográficos (e.g., producción de semillas, dispersión, germinación, emergencia y establecimiento de la nueva plántula) que responde a la variabilidad ambiental (factores abióticos y bióticos) y a los cambios climáticos históricos (Tilman y Lehman, 2001; Sánchez *et al.*, 2007a; Marañón *et al.*, 2008). De esta manera, queda explícito, que dichos procesos biológicos tienen lugar de forma dependiente del microhábitat (Schupp, 1995; Marañón *et al.*, 2008) y consecuentemente los mecanismos evolutivos que minimizan el riesgo de transición de las semillas a plántulas están fuertemente bajo la presión de selección (Meyer *et al.*, 1997). Según Baskin y Baskin (2004) la presión de selección natural deberá favorecer patrones de germinación, dormancia y de longevidad que incrementen el éxito en el establecimiento de la nueva plántula.

De acuerdo a lo anteriormente planteado, no es de extrañar que los rasgos relacionados con la fase de regeneración de las plantas hayan sido muy utilizados en la definición de los grupos de funcionamiento ecológico, o bien para predecir el funcionamiento de las plantas en proyectos de restauración en un ambiente cada vez más incierto (Pywell *et al.*, 2003; Sánchez *et al.*, 2009b), y que también fuera acuñado el término de nicho de regeneración (Grubb, 1977), para explicar la coexistencia de un gran número de especies, en un mismo hábitat, con diferentes requerimientos de regeneración. El conocimiento del nicho

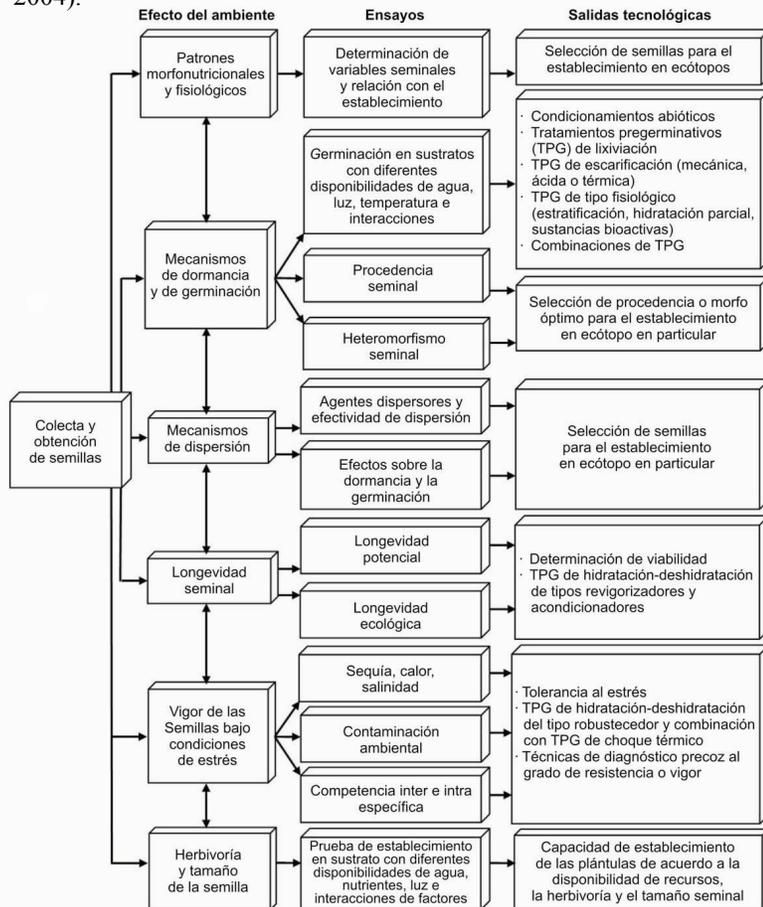


Fig. 1 Diagrama de flujo para investigaciones sobre ecofisiología de la germinación de plantas nativas. Datos modificados de Sánchez *et al.* (2004).

regeneración de las diferentes especies que componen una comunidad puede ser empleado en la restauración ecológica (Vázquez-Yanes y Orozco-Segovia, 1993; Muñoz y Sánchez, 2000; Marañón *et al.*, 2008; Sánchez *et al.*, 2009b), y también para enfrentar el Cambio Climático (Alvarado *et al.*, 2002; Sánchez *et al.*, 2003a); pero es necesario conocer que está determinado por múltiples factores que puede tener efectos contrapuestos sobre el reclutamiento de las plantas (Valladares, 2004), como ha quedado demostrado en diversos estudios realizados en países desarrollados.

En Cuba, existe una base teórico-práctica sobre algunos aspectos de la ecología de los bosques siempreverdes y semidecíduos de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario (Herrera *et al.*, 1988a, 1997, 2004, 2005). Sin embargo, esta información no existe para otras regiones del país y aún, es muy escasa en otras reservas de la biosfera. Tampoco consta casi información sobre la germinación y la dormancia de las semillas de las plantas nativas; y menos sobre el papel del tamaño de las semillas y la herbivoría sobre la supervivencia y establecimiento de las plántulas de especies forestales bajo distintas condiciones ambientales (e.g., disponibilidad de nutrientes del suelo, sequía, sombra, salinidad y acidez del suelo) (Sánchez *et al.*, 2007a). Aspectos, que son decisivos para la vegetación del archipiélago cubano; dada la severidad del ambiente, la fragilidad de algunos ecosistemas, la fragmentación del hábitat y la contingencia de los planes de reforestación y restauración que se realizan en el país (Capote *et al.*, 2011). Estos autores además señalaron, que en los planes de reforestación subsisten deficiencias tales como: inadecuada selección de especies y sitios para reforestar, bajos niveles de supervivencia de las plántulas y deficiente estructura en cuanto a diversidad de especies.

Por otra parte, el conocimiento de la influencia de los factores del ambiente sobre la germinación es de gran utilidad para poder afrontar con garantías de éxito la conservación de endemismos vegetales, especialmente en el caso de los que se hallan amenazados de extinción, por las siguientes razones: 1) permite una mejor comprensión de la fenología de la especie en lo que se refiere a la predicción de los períodos más favorables para el establecimiento de las plántulas en la naturaleza; 2) permite conocer la tendencia de la especie a constituir bancos de semillas de carácter transitorio o persistentes en función de la existencia o ausencia de mecanismos de dormancia/latencia; y 3) facilita la obtención de plántulas en condiciones de viveros, así como ensayos facultativos de germinación previo a la conservación de las semillas en bancos de germoplasma. A estas razones, también se le puede agregar que dicho conocimiento biológico nos ayudará a saber el comportamiento de la especie amenazadas frente a los impactos del Cambio Climático antropogénico y como enfrentarlo.

Aportes de la ecofisiología de la germinación a la restauración en un ambiente cambiante. 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. Muchos de los rasgos estudiados en las semillas y las plántulas se correlacionaron con el tamaño de las semillas, lo cual indica que esta variable podría ser un buen indicador del comportamiento regenerativo de los

árboles tropicales frente a diferentes gradientes ambientales (e.g., luz y temperatura del suelo, nutrientes y disponibilidad de agua del sustrato). 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 (Westoby *et al.*, 2002; Porter y Rose, 2005). Por ejemplo, se conoce la correlación que se establece entre el tamaño de la semilla y la masa seca total de las plántulas y entre la masa de la semilla (i.e., masa seca de las reservas seminales) y la velocidad de crecimiento relativo de las plántulas (Fig.2) (Porter y Rose, 2005; Sánchez *et al.*, 2007a). También existen relaciones lineales entre el tamaño de la semilla y la supervivencia de las plántulas y entre el tamaño de la semilla 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 sólo conocer las relaciones entre las especies y sus requerimientos de germinación y de establecimiento, sino también cómo coexisten frente una gran variabilidad del recursos, o bien en los posibles escenarios ambientales inducidos por el Cambio Climático (Engelbrecht *et al.*, 2005; Sánchez *et al.*, 2009b).

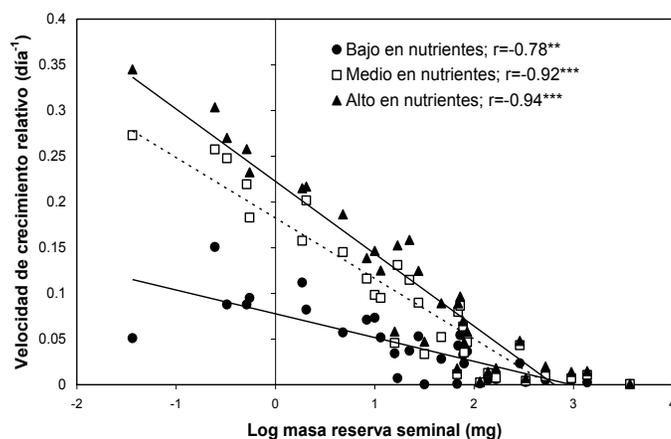


Fig. 2. Relación entre el log de la masa de la reserva seminal y la tasa de crecimiento relativo de especies arbóreas crecidas en sustratos con distintas disponibilidad de nutrientes. Símbolos: significativos a ** $P < 0.01$, *** $P < 0.001$. Datos tomados de Sánchez *et al.* (2007a).

El tamaño de la semilla también jugará 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 forestales cubanas (Sánchez *et al.*, 2007a). Dichos autores, igualmente demostraron una relación negativa entre el tamaño seminal y la plasticidad fenotípica de las plántulas (Fig. 3). Aspecto de gran importancia teórica y de utilidad práctica, pues evidencia que mediante el tamaño de la semilla se puede predecir la plasticidad de la especie para aclimatarse a diferentes 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 (Balaguer *et al.*, 2001; Valladares *et al.*, 2004a). En plantas forestales cubanas,

Sánchez *et al.* (2007a) también determinaron que las especies arbóreas pioneras tiende a ser más plásticas que las especies *climax* o no pioneras al variar la disponibilidad de nutrientes del sustrato, lo cual coincide con el comportamiento de dicho grupo funcional en una gran variedad de ambientes (Bazzaz, 1996). Por tanto, este grupo funcional podría ser menos afectado por los cambios climáticos inducidos por el hombre; aunque tal comentario requiere mayor desarrollo en trabajos futuros, dado que no todas las plantas pioneras fueron más plásticas que aquellas no pioneras (Sánchez *et al.*, 2007a).

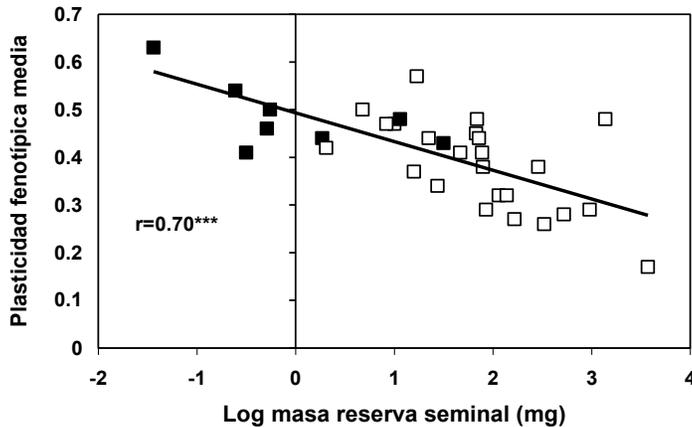


Fig. 3. Relación entre la plasticidad fenotípica media y el log de la masa seca de las reservas seminales para 32 especies de arbóreas. Las especies pioneras se muestran con casillas negras. Significativo a *** $P < 0.001$. Datos tomados de Sánchez *et al.* (2007a).

La masa de la semilla, en especies leñosas, igualmente se ha correlacionado positivamente con incrementos en la biomasa dedicada al sistema radical (mayor biomasa absoluta y proporción de raíz), y por tanto con la supervivencia de las especies en hábitats con limitaciones de agua y de nutrientes (Lloret *et al.*, 1999). Sin embargo, no todos los estudios han obtenido similar patrón. Por ejemplo, Sánchez *et al.* (2007a) no encontraron este comportamiento para especies forestales cubanas, pero si obtuvieron una relación lineal y negativa entre el tamaño de la semilla y la producción de raíces laterales; las plantas procedentes de semillas pequeñas (i.e., pioneras) produjeron mayores raíces secundarias como vía posiblemente de incrementar la absorción de recursos en los primeros estadios de desarrollo, siendo la relación muy significativa en sustrato muy pobre en nutrientes. También se conoce que las semillas pequeñas producen plántulas más diminutas que requieren de condiciones de humedad uniforme para poder sobrevivir (Villar *et al.*, 2004) y por tanto, podrían ser más afectadas por las sequías inducidas por el Cambio Climático. Sin embargo, aunque las semillas más grandes suelen tener mayor velocidad de germinación, plántulas más vigorosas y con mayor probabilidad de supervivencia (Dalling y Hubbell, 2002), no todo son ventajas. Pueden existir, presiones selectivas opuestas actuando sobre el tamaño de la semilla, como ocurre en *Quercus ilex* (Gómez, 2004) y en semillas de *Andira inermis* (J. A. Sánchez, datos no publicados) durante la fase posdispersiva y en la fase de establecimiento.

Por su parte, el contenido de humedad inicial de la semilla es un buen indicador de la velocidad de germinación de la semilla y de su longevidad (Vázquez-Yanes, y Orozco-Segovia, 1993; Sánchez *et al.*, 2007a). Por medio de esta variable, también se puede predecir como cambios en el clima

(por reducción de precipitaciones e incrementos de las temperaturas) afectarían la viabilidad de las semillas recalcitrantes (i.e., semillas con alto contenido de humedad y corta viabilidad) típicas de formaciones vegetales tropicales muy húmedas y húmedas, donde el agua no es una limitante para el crecimiento de las plantas, en particular para la germinación y el establecimiento de las plántulas. El Cambio Climático podría alterar 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. Además, el Cambio Climático y la variabilidad climática afectan la fenología de las plantas (Alvarado *et al.*, 2002), y en particular el proceso de maduración de los frutos; como ha sido informado para las Meliáceas cubanas según D. Albert (común. pers.). De este modo, si las semillas llegan al suelo bajo condiciones no adecuadas para su germinación y establecimiento, podrían seguir los siguientes caminos: 1) formar un banco de semillas, si su tamaño y contenido de humedad se lo permite (que en el caso de las recalcitrantes es muy efímero) hasta que las condiciones ambientales le permitiera la germinación; 2) adquirir una dormancia secundaria para lograr sobrevivir hasta la próxima estación óptima para la germinación; 3) perder su viabilidad por la actividad de patógenos o depredadores de semillas para los cuales no tiene mecanismos naturales de defensas (por llegar en otra estación y condición climática); y 4) perder su viabilidad por la deshidratación a la que son sometidas las semillas cuando llegan a sitios abiertos o muy fragmentados, como son los claros del bosque, donde se pueden alcanzar durante el verano temperaturas del suelo superiores a los 45°C (Daws *et al.*, 2002; Sánchez, 2003).

Esta última hipótesis, se ha comprobado en diversas especies forestales de la Reserva de la Biosfera Sierra del Rosario (RBSR), que son características de la vegetación primaria del bosque siempreverde mesófilo. Por ejemplo, en semillas recalcitrantes de *Ocotea leucoxylo* y *Beilschmiedia pendula*, que tienen un alto contenido de humedad inicial de 35,0% y 31,0%, respectivamente; pero sucede también en otras plantas nativas con amplia distribución en el territorio nacional y alto contenido de humedad inicial (%) como son: *Oxandra lanceolata* (38,3), *Cupania americana* (39,6), *Pseudolmedia spuria* (35,0), *Guarea guidonia* (34,5), *Cerasus occidentalis* (= *Prunus occidentalis*) (29,8) y *Andira inermis* (41,8) (Sánchez *et al.* 2009a). Situación, que podría ser peor para especies arbóreas y arbustivas endémicas de la región montañosa del oriente de Cuba (nordeste oriental), que ocupan bosques húmedos tropicales con alto nivel de pluviosidad (Capote *et al.*, 2011). De hecho, el Índice de Aridez Biológica propuesto por López (1998) y modificado posteriormente por Ferrás (1999) evidenció que en regiones de Cuba con cierto grado de aridez predominan especies endémicas provenientes de familias botánicas de sitios secos de América del Sur. Plasencia *et al.* (2011) obtuvieron resultados similares cuando analizaron el comportamiento del índice de aridez para especies nativas (no endémicas) de sitios secos de la provincia de Camagüey.

Se conoce que el incremento de la aridez da lugar a cambios evolutivos y a migraciones altitudinales y latitudinales de la vegetación (Valladares *et al.*, 2004b), pero según las predicciones actuales del escenario del cambio global es más probable que dé lugar a cambios en la dominancia de las especies del bosque y a extinciones locales, dado que por un lado el clima cambia muy rápido y por otro el

territorio se encuentra muy fragmentado (Valladares *et al.*, 2004b). De este modo, se podría predecir también una sustitución progresiva de los mecanismos o clases de dormancia seminal que componen las especies de la comunidad vegetal, basado fundamentalmente en la sensibilidad de las especies a los impactos de Cambio Climático. La intensificación de la sequía en las formaciones vegetales cubanas, en particular en las zonas húmedas, podrá favorecer aquellas especies con dormancia física en la semilla/fruto (cubiertas impermeables al agua y al oxígeno) para propiciar la germinación sólo cuando las condiciones sean adecuadas para el establecimiento de la nueva plántula; que en los bosques tropicales secos (o bien con cierta aridez) coincide, por lo general, con la llegada de la estación lluviosa. La clase de dormancia física es más común en especies de regiones tropicales secas, que en aquellas de bosques tropicales húmedos (51% vs 5%, respectivamente) (Baskin y Baskin, 1998), y se considera una adaptación para sobrevivir durante la estación seca o menos favorable para la germinación, también la dormancia física es la única clase de dormancia seminal que propicia la formación de banco de semillas (Baskin *et al.*, 2000; Thompson *et al.*, 2003). Aunque también, se ha constatado que las especies que ocupan ambientes desfavorables (e.g., áridos y fríos) poseen con mayor probabilidad dormancia seminal (fisiológica, morfológica, morfofisiológica, o física) que aquellas plantas que ocupan habitas favorables (Khurana y Singh, 2001; Baskin y Baskin, 2005; Jurado y Flores, 2005).

Según Baskin *et al.* (2000), 15 familias botánicas tienen semillas o frutos con dormancia física, de ellas 12 están presente en la flora de Cuba (Anacardiaceae, Bixaceae, Cannaceae, Cistaceae, Cochlospermaceae, Convolvulaceae,

Curcubitaceae, Leguminosae, Malvaceae, Nelumbonaceae, Rhamnaceae y Sapindaceae). Ellos también propusieron que, basándose en la anatomía de la cubierta de las semillas la dormancia física podría aparecer en otras 16 familias, ocho de ellas están en Cuba (Euphorbiaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Passifloraceae, Polygalaceae, Staphyleaceae, Thymelaeaceae y Chloranthaceae). Por su parte, cuando se analiza las clases de dormancia seminal que presentan las familias cubanas que proviene de sitios secos o con cierto grado de aridez (Borhidi, 1996) se encuentra, que en la mayoría de las familias se ha reportado dormancia fisiológica, y sólo en tres familias se presenta la dormancia física (Leguminosae, Malvaceae y Sapindaceae) (Tabla 1), lo cual podría contradecir lo anterior planteado con relación a la prevalencia de la dormancia física en sitios secos. Sin embargo, la mayoría de la información que se existe sobre dormancia seminal y familia botánica proviene de especies no cubanas; por tanto, hace falta mucha investigación para conocer y entender el significado ecológico que podría tener la dormancia (si existe) en las plantas nativas cubanas.

Por otra parte, la presencia de dormancia en la mayoría de las familias cubanas que provienen de regiones áridas (Tabla 1) no contradice la hipótesis 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. De hecho, la familias botánicas a la cual

Tabla 1. Tipos de dormancia seminal que se presenta al menos en una especie de familias de plantas cubanas que provienen de sitios secos o con cierto grado de aridez. ND, no durmiente; PY, dormancia física; PD, dormancia fisiológica; MD, dormancia morfológica; MPD, dormancia morfo-fisiológica.

Familias	Tipos de dormancia	Referencia
Annonaceae	MD, MPD	Sautu <i>et al.</i> (2007), Sánchez <i>et al.</i> (2007a)
Apocynaceae	ND, PD	Finch-Savage y Leubner-Metzger (2006)
Arecaceae	MD, MPD	Baskin y Baskin (2005)
Bignoniaceae	ND, PD	Finch-Savage y Leubner-Metzger (2006)
Bursereaceae	ND, PD	Sautu <i>et al.</i> (2007)
Cactaceae	ND, PD	Baskin y Baskin (1998)
Cappariaceae	ND	Baskin y Baskin (2005)
Combretaceae	ND, PD	Baskin y Baskin (2005)
Connaraceae	ND	Garwood (1983)
Dichapetalaceae	No hay información	
Ebenaceae	ND, PD	Baskin y Baskin (1998)
Erythroxylaceae	ND, PD	Baskin y Baskin (1998)
Euphorbiaceae	ND, PD	Sautu <i>et al.</i> (2007), Baskin y Baskin (2005)
Flacourtiaceae	ND, PD	Sautu <i>et al.</i> (2007)
Koeberliniaceae	No hay información	
Leguminosae ¹	ND, PY, PD, PY+PD	Baskin y Baskin (1998, 2005), Sánchez <i>et al.</i> (2007a)
Malpighiaceae	ND, PD	Baskin y Baskin (1998)
Malvaceae ²	ND, PY, PD	Baskin y Baskin (1998), Baskin <i>et al.</i> (2000); Sánchez <i>et al.</i> (2007a)
Martyniaceae	No hay información	
Menispermaceae	No hay información	
Ochnaceae	No hay información	
Sapindaceae	ND, PY, PD	Baskin <i>et al.</i> (2000), Sánchez <i>et al.</i> (2007a)
Velloziaceae	MD, MPD	Baskin y Baskin (2005)
Vitaceae	No hay información	
Zygophyllaceae	PD	Baskin y Baskin (1998)

¹ Leguminosae (incluye las subfamilias Caesalpinoideae, Mimosoideae, Papilionoideae).

² Malvaceae (incluye las familias Bombacaceae, Sterculiaceae, Tiliaceae).

pertenecen la mayoría de los árboles cubanos (Euphorbiaceae, Myrtaceae, y Rubiaceae) pueden presentar semillas sin dormancia, o bien con dormancia fisiológica y morfofisiológica (Baskin y Baskin, 1998, 2005; Sánchez *et al.*, 2007a).

De todas formas, este esquema basado en la sensibilidad diferencial de las especies al Cambio Climático podría verse alterado por una capacidad también diferencial de cada especie de evolucionar y de adaptarse a las nuevas condiciones locales cambiantes (Valladares *et al.*, 2004a, b). Pero el problema es la tasa del cambio ambiental, pues si bien el ajuste evolutivo al Cambio Climático puede mitigar los efectos adversos de éste, en especies leñosas estos ajustes requieren un mínimo de 200 años para ser efectivos (Rehfeldt *et al.*, 2001).

Por su parte, 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 germinar y establecerse la nueva plántula. La pruebas de germinación en diferentes rangos de temperaturas no sólo brinda la temperatura óptima de germinación, sino también aquellas temperaturas que son subletales y letales para dicho proceso. Estos ensayos de germinación en Cuba, por lo general, se hacen a una temperatura constante de 25°C y tres niveles de temperaturas alterna: 25/30°C, 25/35°C y 25/40°C y 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.*, 2004), pero en múltiples ocasiones se ensayan temperaturas extremas y letales para la germinación como son los termoperíodos de 25/45°C y 25/50°C (Bewley y Black, 1994; Sánchez *et al.*, 2003a); dichos termoperíodos podrían estar presente en los posibles escenarios ambientales inducidos por el Cambio Climático. De hecho, ya en los claros de bosques siempreverdes de la RBSR se puede alcanzar temperaturas del suelo > 45 °C, como ya se mencionó, y esto podría ser mayor en una vegetación más abierta, como son los matorrales xeromorfos costeros. Igualmente, este incremento de la temperatura en combinación con una disminución considerable de las lluvias podría afectar la germinación y supervivencia de especies nativas que ocupan sitios con cierta estabilidad hídrica y térmica; escenario ambiental que recientemente se comentó para la germinación de especies de la familia Hydatellaceae (Tuckett *et al.*, 2010).

También 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 de ecosistemas terrestres costeros o cercanos a las costas; incluso para aquellas que frecuentemente sus semillas pueden enfrentan la salinidad, tal como sucede en *Conocarpus erectus* (Muñoz y 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, y hasta donde conocemos sólo existen tres contribuciones que abordan dichos aspectos, dos sobre la germinación de *C. erectus* (Muñoz *et al.*, 1994; Muñoz y Sánchez, 2006) y una sobre el establecimiento de plántulas de *Amaranthus minimus*, hierba postrada endémica y en peligro crítico de extinción (González-Oliva, 2010); por tanto, será de gran utilidad realizar investigaciones que permitan predecir las respuestas germinativas y de establecimiento de las plantas nativas a la salinidad.

Igualmente, el conocimiento de los grupos de funcionamiento ecológico basados en características de las semillas y plántulas es una herramienta muy importante no sólo para apoyar planes de reforestación y restauración sino que también nos permitirá conocer como responde las plantas, con iguales características morfofuncionales, a la variabilidad climática. Este enfoque simplifica la diversidad biológica, y con sólo conocer los rasgos seminales que caracterizan las diferentes estrategias de regeneración podremos predecir en que etapa de desarrollo sucesional se encuentra la comunidad forestal y que factores ambientales favorece o limitan el avance de ciertos grupos funcionales. Sin embargo, quizás lo más difícil es pronosticar, con solo rasgos de semillas y plántulas, qué especies desaparecerán y cuáles podrían volverse dominantes en los nuevos escenarios climáticos (Valladares *et al.* 2004b; Sánchez *et al.*, 2009b).

Aportes de los tratamientos de hidratación-deshidratación de las semillas en la investigación del Cambio Climático. La aplicación de los tratamientos de hidratación-deshidratación (HD) de las semillas en combinación o no con otros tratamientos robustecedores (i.e., de tipo fisiológico), resultan adecuados para mejorar el funcionamiento de las plantas en condiciones ecológicas muy extremas (estrés hídrico, calórico, lumínico, salinidad, etc.) y para conocer la plasticidad fenotípica de las plantas antes condiciones ambientales cambiantes (norma de reacción de las plantas) (Sánchez *et al.*, 2001a; 2003a). Estos procedimientos, de forma general, consisten en la inmersión de las semillas en agua o en soluciones osmóticas durante cierto tiempo con o sin deshidratación previa a la siembra y permiten que una gran proporción de las mismas alcance rápidamente el nivel de humedad y estado metabólico deseado; como consecuencia de la activación de numerosos procesos bioquímicos-fisiológicos relacionados con la germinación, la tolerancia al estrés ambiental y la reparación de daños celulares (Henckel, 1964; Sánchez *et al.*, 2001a; Vanangamudi *et al.*, 2006). De acuerdo a lo anterior, los principales eventos celulares que activan los tratamientos de hidratación parcial en las semillas son: 1) mecanismos reparadores de membranas, DNA, proteínas y enzimas; 2) replicación de DNA; 3) síntesis de proteínas y RNA; y 4) sistemas de defensas antioxidantes (eliminadores de radicales libres) (Bray, 1995; McDonald, 2000; Varier *et al.*, 2010). Los tratamientos, se conocen en la terminología científica como acondicionadores de semillas o “seed priming”, revigorizadores de semillas o “seed reinvigoration” y robustecedores de semillas o “seed hardening” (Sánchez *et al.*, 2001a). En general, los tratamientos de HD de semillas también se llaman en la literatura como tratamientos de hidratación parcial, de humedecimiento-dsecación, de prehidratación, o simplemente como tratamientos hídricos.

En la actualidad los tratamientos de HD se investigan fundamentalmente con los siguientes fines prácticos: 1) revigorización de semillas para incrementar el vigor y la longevidad durante el almacenamiento; 2) acondicionamiento para incrementar, acelerar y sincronizar la germinación y el establecimiento; y 3) robustecimiento de semillas para incrementar la germinación, el establecimiento y los rendimientos de las plantas resultantes de los tratamientos, bajo condiciones ambientales adversas (McDonald, 2000; Sánchez *et al.*, 2001a; Vanangamudi *et al.*, 2006). Estos procedimientos, también se han empleado con otros

propósitos biológicos y prácticos (ver para mayor revisión a Sánchez *et al.*, 2001a); pero en general, su uso está condicionado a los objetivos que persiguen los investigadores y a las características de los lotes de semillas empleados, pues los tratamientos influyen en muchos eventos bioquímicos-fisiológicos relacionados con la germinación, la longevidad, la dormancia, el crecimiento y los rendimientos de las plantas tanto bajo condiciones ecológicas óptimas como adversas.

En el ámbito internacional los tratamientos hídricos se han aplicados en diversas especies de interés agrícola (Sánchez *et al.*, 2001a; Vanangamudi *et al.*, 2006); sin embargo, existe muy poca información sobre la aplicación de los referidos métodos en semillas de especies arbóreas, o bien útiles en proyectos de restauración. De hecho, en el último libro publicado sobre robustecimiento de semillas (Vanangamudi *et al.*, 2006), sólo hay información de una especie forestal (*Acacia nilotica*). Afortunadamente, esta situación ha ido cambiando, y ya aparecen diversas publicaciones, aunque aún discreta en número, para plantas silvestres en países como México, Brasil y Venezuela (Dubrovsky, 1996; Gamboa-de Buen *et al.*, 2006; Brancalion *et al.*, 2008, 2010; Vargas y Kossmann, 2008; Bravo *et al.*, 2011). Por su parte, los estudios realizados en Cuba con los tratamientos de HD se iniciaron desde las décadas del 70 y del 80 del pasado siglo por Capote y Fleites, (1978) y Orta *et al.* (1985), por lo que, dichos autores pueden considerarse pioneros en el tema para América Latina, pero sólo es hasta finales de la década del 90 del siglo XX, que aparece en nuestro país la primera contribución en una especie forestal pionera (*Trichospermum mexicanum*) (Sánchez *et al.*, 1998). Dichos autores, provocaron tolerancia a la sequía en *T. mexicanum* (especie sensible al estrés hídrico) con la aplicación de tratamientos de HD, y además, propusieron una combinación nueva de tipo de tratamiento robustecedor (hídrico más choque térmico a nivel de semilla) basado en el principio de que las plantas están sometidas simultáneamente a múltiples condiciones de estrés, que propician, al mismo tiempo, el desarrollo de mecanismos múltiples de resistencia o tolerancia al estrés (Kozłowski y Pallardy, 2002; Sánchez *et al.*, 2007b). Dicha combinación de procedimientos, además fueron efectivos para incrementar la termotolerancia en semillas y plántulas de hortalizas bajo condiciones de estrés calórico (Sánchez *et al.*, 2001b).

En Cuba, los tratamientos robustecedores de semillas se han aplicado en un gran número de especies de interés agrícola (hortalizas y frutales), de sistemas silvopastoriles (tanto herbáceas como arbóreas), y en árboles tropicales pioneros, (Orta *et al.*, 1998; Sánchez *et al.*, 1999a,b, 2001a,b, 2003a,b, 2005, 2006, 2007b; Montejo *et al.*, 2002, 2004, 2005b; González *et al.*, 2005, 2008, 2009a,b); pero también, se han empleados recientemente en especies arbóreas y arbustivas de interés en proyectos de restauración ecológica (e.g., *Andira inermis*, *Dracaena cubensis*, *Dendrocereus nudiflorus*) (J.A. Sánchez datos no publicados).

Por otra parte, en todos los experimentos realizados en nuestro país, con plantas nativas, los tratamientos de HD fueron adecuados para

incrementar la germinación y el establecimiento de las plántulas bajo condiciones de estrés abiótico, tal como se proponen en las pruebas de efectividad de dichos tratamientos (Bradford, 1986, 1990; Sánchez, 2003); por tanto, queda evidente que esta ecotecnología, de bajos insumos, es efectiva para mejorar el funcionamiento reproductivo de las plantas cubanas bajo los posibles escenarios ambientales inducidos por el Cambio Climático. Por ejemplo, en semillas de árboles pioneros (Tabla 2) los tratamientos robustecedores (HD) incrementaron significativamente la germinación en condiciones extremas de sequía (estrés hídrico y calórico) con relación al tratamiento control (Sánchez *et al.*, 2003a). Por su parte, en *Dracaena cubensis* y *Dendrocereus nudiflorus* (endemismos cubanos amenazados) los tratamientos hídricos igualmente fueron adecuados para incrementar la termotolerancia en semillas y germinación bajo estrés hídrico, respectivamente (J. A. Sánchez, datos no publicados). En estas especies, los estudios de ecofisiología de la germinación también delimitaron los mecanismos de latencia/dormancia presente en cada una, y rasgos morfofuncionales útiles para la conservación y proyectos de restauración.

En resumen, los tratamientos de HD de semillas se basan fundamentalmente en incrementar la plasticidad fenotípica de la germinación en las semillas procedentes del ecosistema objeto del diseño ecotecnológico. Por tanto, esto implica, que dichos procedimientos no disminuyen la variabilidad genética que se introduce al ecosistema, ni introducen nuevos genes al mismo. Queda sólo entonces, echar mano de dicha tecnología ecológica para mejorar el funcionamiento de las plantas y acelerar los procesos de restauración ecológica, y con esto contribuir a la mitigación del Cambio Climático Global.

Tabla 2. Efectos de los tratamientos de hidratación-deshidratación sobre el porcentaje germinación final de árboles tropicales pioneros en condiciones de estrés.

Especies/Tratamientos	Germinación bajo estrés hídrico			
	-0.49MPa	-0.97 MPa	-1.46 MPa	Media total
<i>Cecropia schreberiana</i>				
Control	15.0	0.0	0.0	5.0
Tratamiento	29.0	17.6	0.0	15.6
<i>Trichospermum mexicanum</i>				
Control	21.3	7.0	0.0	9.5
Tratamiento	44.1	19.0	10.0	24.3
<i>Talipariti elatum</i>				
Control	4.6	0.0	0.0	1.5
Tratamiento	25.3	11.5	0.0	12.2
<i>Guazuma ulmifolia</i>				
Control	40.0	15.0	3.0	19.3
Tratamiento	68.0	40.0	19.5	42.5
Germinación bajo estrés calórico				
	25/40°C	25/45°C	25/50°C	Media total
<i>Cecropia schreberiana</i>				
Control	70.2	25.0	0.0	31.7
Tratamiento	92.6	52.0	35.0	59.8
<i>Trichospermum mexicanum</i>				
Control	80.0	24.0	0.0	34.6
Tratamiento	94.0	56.0	40.4	63.4
<i>Talipariti elatum</i>				
Control	34.4	0.0	0.0	11.4
Tratamiento	67.6	30.2	20.5	39.4
<i>Guazuma ulmifolia</i>				
Control	73.3	24.0	0.0	32.4
Tratamiento	95.3	57.3	33.2	61.9

CONSIDERACIONES FINALES Y PERSPECTIVAS DE INVESTIGACIÓN

El conocimiento de la ecofisiología de la germinación de las especies nativas nos permite comprender mejor los mecanismos de regeneración de las plantas y sus posibles respuestas ante diferentes condiciones ambientales y el Cambio Climático; pero también sobre esta base ecofisiológica se fundamenta la mayoría de las ecotecnologías desarrolladas (los tratamientos de HD, las micorrizas, etc.) Ellas siguen los pasos de la naturaleza, solo que a mayor velocidad, permitiendo de esta forma la reparación acelerada de los ecosistemas (ecorrestauración), y con esto de los servicios que presta a la salud del medio ambiente, y en particular al hombre. 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 de los ecosistemas forestales. En este sentido, los estudios de ecofisiología de la germinación son pioneros para realizar proyectos de restauración y reforestación, y también para la conservación *in situ* del patrimonio vegetal cubano, con sus bienes y servicios ecosistémicos.

Por su parte, la ocurrencia simultánea de estrés hídrico, lumínico y térmico 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 disociar los efectos del 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. Sólo 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 y al Cambio Climático.

En Cuba además, se hace imprescindible incrementar nuestros conocimientos sobre los mecanismos de regeneración de plantas nativas, que son de gran utilidad en proyectos de restauración. Necesariamente, se debe priorizar dichos estudios en las especies endémicas amenazadas (fundamentalmente arbustos, que es la principal forma de vida que prevalece en nuestro territorio), y estos deben comenzar con la caracterización morfo-fisiológica de las semillas, que es la base para el conocimiento de la biología seminal; pero también conviene determinar los requerimientos germinativos de cada especie en un amplio escenario ambiental y multifactorial como ya se comentó, clases de dormancia, mecanismos de dispersión, bancos de semillas/plántulas, fenología de la germinación en condiciones de laboratorio, vivero y natural, conservación de germoplasma, etc. Para ello, es necesario que el país invierta en la formación de personal especializado y en la creación de capacidades, para poder asumir, en mejores condiciones, el reto al cual nos

enfrentamos. También se deben incrementar los estudios de las poblaciones de las plantas nativas cubanas, los cuales son muy escasos, y que sin dudas, junto con el conocimiento de la biología de la semilla contribuirán a la conservación de nuestro patrimonio vegetal en un ambiente cada vez más cambiante.

Agradecimientos. Esta investigación fue financiada por la Fundación Internacional para la Ciencia (IFS) mediante el donativo D/3536-2 a J. A. Sánchez. También los estudios se realizaron en el marco del proyecto "Ecofisiología de semillas y plántulas de árboles y arbustos de la Sierra del Rosario" del Programa Ramal de Diversidad Biológica de Cuba. Los autores agradecen a Teresa Regalado Calero la confección del diagrama del flujo de investigación.

REFERENCIAS

- Aide, T.M. y H. R. Grau. 2004. Globalization, migration, and Latin American ecosystems. *Science*. 305: 1915-1916.
- Alvarado, M. C., R. Foroughbakhch, E. Jurado y A. Rocha. 2002. El cambio climático y la fenología de las plantas. *Ciencia Uanl*. 5: 493-500.
- Álvarez, A. y A. Peña. 1984. Empleo del ácido sulfúrico como tratamiento pregerminativo de semillas de *H. elatus*. *Boletín Técnico Forestal*. 1: 103-115.
- Álvarez, A., E. Castillo y O. Hechavarría. 2006. *Especies Protegidas por la Ley Forestal de Cuba*. Instituto de Investigaciones Forestales, La Habana, 347 pp.
- Andrade, L. L. 2005. Fisiología ecológica de árboles tropicales: avances y perspectivas. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 11: 83-91.
- Anónimo. 1983. *Manual de semillas forestales*. Centro Universitario de Pinar del Río, Facultad de Ingeniería Forestal, Cuba. 92 pp.
- Balaguer, L., E. Martínez-Ferri, F. Valladares, M. E. Pérez-Corona, F. J. Baquedano, F.J. Castillo y E. Manrique. 2001. Population divergence in the plasticity of the response of *Quercus coccifera* to the light environment. *Funct. Ecol*. 15: 124-135.
- Baskin, C. C. y J. M. Baskin. 1998. *Seeds: Ecology, Biogeography and Evolution of Dormancy and Germination*, Academic Press, San Diego, 666 pp.
- 2004. A classification system for seed dormancy. *Seed Sci. Res.* 14: 1-16.
- 2005. Seed dormancy in trees of climax tropical vegetation types. *Trop. Ecol.* 46: 17-28.
- Baskin, J.M., C.C. Baskin y X. Li. 2000. Taxonomy, ecology, and evolution of physical dormancy in seeds. *Plant Species Biology*. 15, 139-152.
- Bazzaz, F.A. 1996. *Plants in changing environments: linking physiological, population, and community ecology*. Cambridge University Press, Cambridge, 320 pp.
- Bradford, K. J. 1986. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *HortScience*. 21: 1105-1112.
- 1990. A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiol*. 94: 840-849.
- Bray, C. M. 1995. Biochemical processes during the osmopriming of seeds. En: J. Kigel y G. Galili (eds.), *Seed development and germination*, 767-789, Marcel Dekker, Inc. New York, Basel, Hong Kong.
- Betancourt, A. 1987. *Silvicultura especial de árboles maderables tropicales*. Editorial Científica-Técnica, La Habana, 427 pp.
- Bewley, J. D. y M. Black. 1994. *Seed: physiology of development and germination*. Plenum Press, New York, 445 pp.
- Borhidi, A. 1996. *Phytogeography and vegetation ecology of Cuba*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 923 pp.

- Brancalion, P.H.S., D. Tay, A.D.L.C. Novembre, R.R. Rodrigues y J.M. Filho. 2010. Priming of pioneer tree *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) seeds evaluated by an automated computer image analysis. *Scientia Agricola*. 67: 274-279.
- Brancalion, P.H.S., A.D.L.C. Novembre, R.R. Rodrigues y D. Tay. 2008. Priming of *Mimosa bimucronata* seeds: a tropical tree species from Brazil. *Acta Horticulturae*. 782: 163-168.
- Bravo, M., E. Trejo, M. Ramos, J. A. Sánchez, B. C. Muñoz y F. F. Herrera. 2011. Acumulación de biomasa en cinco especies pioneras potenciales para la restauración de bosques degradados al norte de Venezuela, Memorias de la Cuarta Conferencia Mundial sobre Restauración Ecológica, Mérida, México. 21-25 de agosto. 231
- Capote, R. P., I. Mitrani y A. G. Suárez. 2011. Conservación de la biodiversidad cubana y cambio climático en el archipiélago cubano. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*. 1: 1-25.
- Capote, L. S. y V. R. Fleites. 1978. Acondicionamiento contra la sequía en algunas variedades de tomate cultivadas en Cuba. Instituto de Ecología y Sistemática, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente, La Habana, [Inédito].
- Castillo, E. 1981. Estudio sobre tratamientos pregerminativos en semillas de *Pinus maestrensis*. *Revista Forestal Baracoa*. 2: 27-32.
- Cayuela, L. 2006. Deforestación y fragmentación de bosques tropicales montanos en los Altos de Chiapas, México. Efectos sobre la diversidad de árboles. *Ecosistemas*. 15: 192-198.
- CITMA (Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente). 2009. *IV Informe Nacional al Convenio sobre la Diversidad Biológica. República de Cuba*. CITMA, Cuba, 197 pp.
- Coley, P. 1998. Possible effects of climate change on plant/herbivore interactions in moist tropical forest. *Clim. Change*. 39: 455-472.
- Dalling, J. W y S. P. Hubbell. 2002. Seed size, growth rate and gap microsite conditions as determinants of recruitment success for pioneer species. *J. Ecol.* 90: 557-568.
- Dalling, J. W., K. Winter y S. P. Hubbell. 2004. Variation in growth responses of neotropical pioneers to simulated forest gaps. *Funct. Ecol.* 18: 725-736.
- Daws, M.I., D.F.R.P. Burslem, L.M. Crabtree, P. Kirkman, C.E. Mullins y J.W. Dalling. 2002. Differences in seed germination responses may promote coexistence of four sympatric *Piper* species. *Funct. Ecol.* 16: 258-267.
- Daws, M. I., N. C. Garwood y H. W. Pritchard. 2005. Traits of recalcitrant seeds in a semi-deciduous tropical forest in Panama: some ecological implications. *Funct. Ecol.* 19: 874-885.
- Dubrovsky, J. G. 1996. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implications. *Amer. J. Bot.* 83: 624-632.
- Engelbrecht, B.M.J., T. A. Kursar y M. T. Tyree. 2005. Drought effects on seedling survival in a tropical moist forest. *Trees*. 19: 312-321.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. State of the world's forests. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 164 p.
- Fenner, M. 2000. *Seeds: the ecology of regeneration in plant communities*, CAB International, Wallingford, 410 pp.
- Ferrás, H. 1999. La diversidad de plantas en Cuba y su relación con el clima y la aridez. Tesis de Maestría. Instituto de Ecología y Sistemática. Ciudad de La Habana, Cuba. 53 pp.
- Finch-Savage W. E. y G. Leubner-Metzger. 2006. Seed dormancy and the control of germination. *New Phytol.* 171:501-523.
- Fors, A. J. 1967. *Manual de silvicultura*. Instituto Nacional de Desarrollo y aprovechamiento Forestales, La Habana, 251 pp.
- Gamboa-deBuen, A., R. Cruz-Ortega, E. Martínez-Barrajas, M. E. Sánchez-Coronado y A. Orozco-Segovia. 2006. Natural priming as an important metabolic event in the life history of *Wigandia urens* (Hydrophyllaceae) seeds. *Physiologia Plantarum*. 128: 520-530.
- Garwood, N. 1983. Seed germination in a seasonal tropical forest in Panama: a community study. *Ecological Monographs*. 53: 159-181.
- Gómez, J. M. 2004. Bigger is not always better: Conflicting selective pressures on seed size in *Quercus ilex*. *Evolution*. 58: 71-80.
- González, Y., J. Reino, J. A. Sánchez, C. Fung y R. Machado. 2005. Validación de la técnica de hidratación-deshidratación en semillas de *Leucaena leucacephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes*. 28: 117-126.
- González, Y., J. A. Sánchez, J. Reino y L. Montejo. 2009a. Efecto de los tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación, la emergencia y el vigor de las plántulas de *Albizia lebbek* y *Gliricidia sepium*. *Pastos y Forrajes*. 32: 255-262.
- González, Y., J. A. Sánchez, J. Reino, B. C. Muñoz y L. Montejo. 2008. Efectos combinados de escarificación y de hidratación parcial en la germinación de semillas frescas de leguminosas. *Pastos y Forrajes*. 31: 321-326.
- González, Y., J. A. Sánchez, J. Reino, B. C. Muñoz, L. Montejo, R. Machado y C. Fung 2009b. Tecnología de hidratación-deshidratación para recuperar semillas envejecidas conservadas en bancos de genes. Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", Ministerio de Educación Superior, Matanzas, 23 pp.
- González-Oliva, L. 2010. Bases ecológicas para la conservación de la especie amenazada *Amaranthus minimus* (Amaranthaceae). Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. Facultad de Biología, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba. 99 pp.
- Grubb, P. J. 1977. The maintenance of species-richness in plant communities: the importance of the regeneration niche. *Biol. Rev.* 52: 107-145.
- Henckel, P. A. 1964. Physiology of plants under drought. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 15: 363-386.
- Herrera, R. A., J.D.Bever, J.M. de Miguel, A. Gómez-Sal, P. Herrera, E. E. García, R. Oviedo, Y. Torres-Arias, F. Delgado, O. Valdés-Lafont, B. Muñoz y J.A. Sánchez. 2005. A new hypothesis on humid and dry tropical forests succession. Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana, [Inédito].
- Herrera, R.A., E. Furrzola, L. Ferrer, R. Fernández-Valle y Y. Torres-Arias. 2004. Functional strategies of root hairs and arbuscular mycorrhizae in an evergreen tropical forest, Sierra del Rosario, Cuba. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*. 35: 113-123.
- Herrera, R.A., L. Menéndez, M. E. Rodríguez y E. E. García. 1988a. *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba*. Proyecto MAB N^o. 1, 1974-1987. ROSTLAC, Montevideo, 760 pp.
- Herrera, R. A., L. Menéndez, D. Vilamajó. 1988b. Las estrategias de regenerativas, competitivas y sucesionales de los bosques siempreverdes en la Sierra del Rosario. En: R. A. Herrera, L. Menéndez, M. E. Rodríguez y E. E. García (eds.), *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba*. Proyecto MAB N^o. 1, 1974-1987, 296-326, ROSTLAC, Montevideo.
- Herrera, R.A., D. R. Ulloa, O. Valdés-Lafont, A.G. Priego y A.R. Valdés. 1997. Ecotechnologies for the sustainable management of tropical forest diversity. *Nature & Resources*. 33: 2-17.
- Jurado, E. y J. Flores. 2005. Is seed dormancy under environmental control or bound to plant traits. *J. Veg. Sci.* 16: 559-564.
- IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) 2007a. *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* R. K. Pachauri y A. Reisinger (eds.), Ginebra, Suiza, 104 pp.
- 2007b. Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the

- intergovernmental panel on climate change. M.L. Parry, O.F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden y C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, 976 pp.
- Khurana, E. y J. S. Singh. 2001. Ecology of tree seed and seedlings: Implications for tropical forest conservation and restoration. *Current Science*. 80: 748-757.
- Kirilenko A., N. Belotelov y B. Bogatyrev. 2000. Global model of vegetation migration: incorporation of climatic variability. *Ecological Modelling*. 132:125-133.
- Kozłowski, T. T. y S. G. Pallardy. 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stress. *Bot. Rev.* 68: 270-334.
- Locatelli, B. 2006. Vulnerabilidad de los bosques y sus servicios ambientales al cambio climático. CATIE. Grupo Cambio Global. Documento de respaldo para la primera reunión del proyecto TroFCCA, Turrialba, Costa Rica.
- López, A. 1998. Origen probable de la flora cubana. En: Halfter G. (ed.), *La diversidad biológica en Iberoamérica*, 83-108, Xalapa, México.
- Lloret, F., C. Casanovas y J. Penuelas. 1999. Seeding survival of Mediterranean shrubland species in relation to root:shoot ratio, seed size and water and nitrogen use. *Funct. Ecol.* 13: 210-216.
- Marañón, T., J.J. Camarero, J. Castro, M. Díaz, J. M. Espelta, A. Hampe, P. Jordano, F. Valladares, M. Verdú y R. Zamora. 2008. Heterogeneidad ambiental y nicho de regeneración. En: F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 71-102, EGRAF, Madrid.
- Martínez, D., I. Borrajero, A. Bezanilla y A. Centella [En prensa]. La ocurrencia de ciclones tropicales en el Caribe, México y el calentamiento Global. Aplicación de un modelo climático regional. *Revista Ciencias de la Tierra y el Espacio*.
- McCarty, J.P. 2001. Ecological consequences of recent climate change. *Conserv. Biol.* 15: 320-331.
- McDonald, M. B. 2000. Seed priming. En: M. Black y J. D. Bewley (eds.), *Seed Technology and its biological basic*, 286-325, Sheffield, Academic Press, London.
- Menéndez, L. y J. M. Guzmán. 2006. *Ecosistemas de manglar en el Archipiélago cubano*. Editorial Academia, La Habana, 331 pp.
- Menéndez, L., J. M. Guzmán y D. Vilamajó. 2008. Resiliencia del ecosistema de manglar y cambio climático en el archipiélago cubano. En: A. Vanina y L. Fernández (eds.), *Efecto de los cambios globales sobre la biodiversidad*, 111-121, CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Menéndez, L. y D. Vilamajó. 1988. El banco de semillas. En: R. A. Herrera, L. Menéndez, M. E. Rodríguez y E. E. García (eds.), *Ecología de los bosques siempreverdes de la Sierra del Rosario, Cuba*. Proyecto MAB N.º. 1, 1974-1987, 261-271, ROSTLAC, Montevideo.
- Menéndez, L., D. Vilamajó y S. Castiñeiras. 1985. Algunos aspectos de la regeneración en un bosque tropical siempreverde, Sierra del Rosario, Cuba. *Cien. Biol.* 13: 39-49.
- Meyer, S.E., P. S. Allen y J. Beckstead. 1997. Seed germination in *Bromus tectorum* and its ecological significance. *Oikos*. 78: 475-485.
- Montejo, L., J.A. Sánchez y B. Muñoz. 2002. Incremento de la germinación en semillas de fruta bomba por aplicación de tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación. *Cultivos Tropicales*. 23: 27-31.
- 2004. Efecto de tratamientos de hidratación-deshidratación en semillas almacenadas de *Talipariti elatum*. *Pastos y Forrajes*. 27:331-338.
- 2005a. Tratamientos pregerminativos de escarificación ácida y de hidratación parcial en la germinación y el vigor de *Talipariti elatum*. *Pastos y Forrajes*. 28:107-115.
- 2005b. Dormancy and germination in *Talipariti elatum* seeds. *Botanica Complutensis*. 29: 57-62.
- Muñoz, B., R. Orta y E. Calvo. 1994. Potencial germinativo de semillas de *Conocarpus erectus* L.I. Efecto de la salinidad y temperatura del sustrato. *Cien. Biol.* 26: 88-94.
- Muñoz, B. y J.A. Sánchez. 2000. Patrones seminales en especies arbóreas pioneras y su relación con el continuum *r-K*. *Acta Bot. Cub.* 146:18-24.
- 2006. Efectos de la variación seminal y la salinidad sobre la germinación de *Conocarpus erectus* L. En: L. Menéndez y J. M. Guzmán (eds.) *Ecosistemas de manglar en el Archipiélago cubano*, 136-143, Editorial Academia.
- Muñoz, B.C., J. A. Sánchez, N. Aguila, L. A. Montejo y A. V. González. 2004a. Efecto de la iluminación y el termoperíodo sobre la respuesta germinativa heteromórfica de *Uniola paniculada*. *Acta Bot. Cub.* 194:11-16.
- Muñoz, B. C., J. A. Sánchez y W. Almaguer. 2004b. Germinación, dormancia y longevidad potencial de semillas de *Guazuma ulmifolia*. *Pastos y Forrajes*: 27: 25-33.
- Muñoz, B. C., J. A. Sánchez, L. A. Montejo y R. Herrera. 2001. Características morfológicas y fisiológicas de semillas de *Prunus occidentalis*. Comparación entre especies de diferentes estrategias sucesionales. *Ecotropicos*. 14:1-10.
- Orta, R., Pozo, L., Pérez, E. y I. Espinosa. 1985. Aplicación de tratamientos pregerminativos a semillas de Siratro/*Macropitillium atropurpureum* (Moc & Sessé) Urb. *Memorias del Primer Simposio de Botánica*. Palacio de las Convenciones, Ciudad de La Habana, Cuba. 2-5 de julio. Tomo V: 251-264.
- Orta, R., J. A. Sánchez, B. C. Muñoz y E. Calvo. 1998. Modelo de hidratación parcial en agua para tratamientos revigorizadores, acondicionadores y robustecedores de semillas. *Acta Bot. Cub.* 121: 1-8.
- Peña, A. 1984. Estudio sobre características de la calidad intrínseca de semillas de *Pinus maestrensis*. *Revista Forestal Baracoa*. 14: 83-101.
- Peña, A. y J. M. Montalvo. 1984. Condiciones ambientales para pruebas de germinación en cinco especies forestales. *Revista Forestal Baracoa*. 16: 7-20.
- Pichs, R. 2008. *Cambio climático. Globalización y subdesarrollo*. Editorial Científico-Técnica, La Habana, 205 pp.
- Plasencia, J. M., Z. Acosta y N. Enríquez. 2011. El índice de aridez biológica; evaluación de la capacidad de la vegetación para responder a los cambios climáticos en la provincia de Camagüey. *Acta Bot. Cub.* 124: 31-34.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2003. El Cambio climático en América Latina y el Caribe: estado actual y oportunidades. XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. UNEP/LAC-IGWG. XIV/Inf. 10, Panamá, 27 pp.
- Poorter, L. y S. Rose. 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.
- Pywell, R. J., M. Bullock, D. B. Roy, L. Warman, K. J. Walker y P. Rother. 2003. Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. *J. Appl. Ecol.* 40: 65-77.
- Rehfeldt, G., W. R. Wykoff y C.C. Ying. 2001. Physiological plasticity, evolution, and impact of a changing climate on *Pinus contorta*. *Clim. Change*. 50: 355-376.
- Samek, V. 1974. *Elementos de selvicultura de los bosques latifolios*. Ediciones de Ciencia y Técnica, Instituto del Libro, La Habana, 291 pp.
- Sánchez, J.A. 2003. Efectos de tratamientos de hidratación-deshidratación y choque térmico sobre la germinación y establecimiento de *Trichospermum mexicanum*. Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Biológicas. Instituto de Ecología y Sistemática, Ciudad de La Habana, Cuba. 87 pp.
- Sánchez, J. A., T. Blanco y B. C. Muñoz. 1998. Inducción de

- tolerancia al déficit hídrico en *Trichospermum grewiifolium*. *Acta Bot. Cub.* 118: 1-16.
- Sánchez, J. A., E. Calvo, B. C. Muñoz y R. Orta. 1999a. Comparación de dos técnicas de acondicionamiento de semillas y sus efectos sobre la conducta germinativa del pepino, pimiento, tomate. *Cultivos Tropicales*. 20: 51-56.
- Sánchez, J. A., E. Calvo, B. C. Muñoz y R. Orta. 1999b. Efecto de los tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación sobre la germinación, establecimiento, floración y fructificación del pepino. *Agronomía Costarricense*. 23: 193-204.
- Sánchez, J.A., Hernández, G.; Reino, J.; Muñoz, B.C. 2007b. Enhanced germination, emergence and seedling vigour of *Leucaena leucocephala* using hardening hydration and acid shock treatments. *Seed Sci. & Technol.*, 35: 224-231.
- Sánchez, J.A., B. C. Muñoz y J. Fresneda. 2001b. Combined effects of hardening hydration-dehydration and heat shock treatments on the germination of tomato, pepper and cucumber. *Seed Sci. & Technol.* 29: 691-697.
- Sánchez, J. A., B. C. Muñoz, L. Hernández, L. Montejo, A. Suárez e Y. Torres-Arias. 2006. Tratamientos robustecedores de semillas para mejorar la emergencia y el crecimiento de *Trichospermum mexicanum*, árbol tropical pionero. *Agronomía Costarricense*. 30: 7-26.
- Sánchez, J.A., B. Muñoz y L. Montejo. 2003a. Efectos de tratamientos robustecedores de semillas sobre la germinación y establecimiento de árboles pioneros bajo condiciones de estrés. *Ecotropicos*. 16, 91-112.
- 2007a. Dormancy and nutrient contents in seeds and their relation with the establishment of tropical trees. Final Report of the International Foundation for Science (D/3536-1), Stockholm, 97 pp .
- 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., B. Muñoz, L. Montejo, J. A. Fresneda y J. Reino. 2004. Estudio ecofisiológico de semillas de interés agroforestal. *Bioteología Aplicada*. 21: 193-195.
- Sánchez, J.A., B. Muñoz y L. Montejo y R. A. Herrera. 2009b. Ecological grouping of tropical trees in an evergreen forest of the Sierra del Rosario, Cuba. *Acta Bot. Cub.* 204: 14-23.
- Sánchez, J. A., B. Muñoz, J. Reino y L. Montejo. 2003b. Efectos combinados de escarificación y de hidratación parcial en la germinación de semillas envejecidas de leguminosas. *Pastos y Forrajes*. 26: 27-33.
- Sánchez, J.A., R. Orta y B. Muñoz. 2001a. Tratamientos pregerminativos de hidratación-deshidratación de las semillas y sus efectos en plantas de interés agrícola. *Agronomía Costarricense*. 25: 67-92.
- Sánchez, J. A., J. Reino, B. C. Muñoz, Y. González, L. Montejo y R. Machado. 2005. Efecto de los tratamientos de hidratación-deshidratación en la germinación, la emergencia y el vigor de plántulas de *Leucaena leucocephala* cv. Cunningham. *Pastos y Forrajes*. 28: 209-220.
- Sautu, A., J.M. Baskin, C.C. Baskin, J. Deago y R. Condit. 2007. Classification and ecological relationships of seed dormancy in a seasonal moist tropical forest, Panama, Central America. *Seed Sci. Res.* 17: 127-140.
- Schupp, E. W. 1995. Seed-seedling conflicts, habitat, and patterns of plant recruitment. *Am. J. Bot.* 82:267-275.
- Thompson, K., R.M. Ceriani, J.P. Bakker y R.M. Bekker. 2003. Are seed dormancy and persistence in soil related? *Seed Sci. Res.* 13: 97-100.
- Tilman, D. y C. Lehman. 2001. Human-caused environmental change: impacts on plant diversity and evolution. *PNAS*. 98:5433-5440.
- 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, Ciudad de La Habana, Cuba, 69 pp.
- Tuckett R. E., D. J. Merritt, P. J. Rudall, F. Hay, S. D. Hopper, C. C. Baskin, J. M. Baskin, J. Tratt y K. W. Dixon. 2010. A new type of specialized morphophysiological dormancy and seed storage behaviour in Hydatellaceae, an early-divergent angiosperm family. *Ann. Bot.* 105: 1053-1061.
- Vanangamudi, K., K. Natarajan, T. Saravanan, R. Renuka, R. Umarani y A. Bharathi. 2006. *Seed hardening, pelleting, and coating. Principles and Practices*. Satish Serial Publishing House, Delhi, 418 pp.
- Vales, M.A.; A. Álvarez, L. Montes y A. Ávila (compiladores). 1998. *Estudio nacional de la diversidad biológica en la República de Cuba*. Editorial CESYTA, Madrid, España, 488 pp.
- Valladares, F. 2004. *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, Madrid, 583 pp.
- Valladares, F., I. Aranda y D. Sánchez-Gómez. 2004a. La luz como factor ecológico y evolutivo para las plantas y su interacción. En: F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 335- 369, EGRAF, Madrid.
- Valladares, F., A. Milagrosa, J. Peñuelas, R. Ogaya, J. J. Camarero, L. Corchera, S. Sisó y E. Gil-Pelegrin. 2004b. Estrés hídrico: ecofisiología y escalas de la sequía. En: F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 163- 190, EGRAF, Madrid.
- Vargas, G. J y I. D. Kossmann. 2008. Hidrocondicionamiento de *parkia pendula* [benth ex walp]: sementes com dormência física de árvore da amazônia. *Revista Árbore*. 32: 39-49.
- Vázquez-Yanes, C. y A. Orozco-Segovia. 1993. Patterns of seed longevity and germination in the tropical rainforest. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 23: 69-87.
- Villar, R., J. Ruiz-Robledo, J. L. Quero, H. Poorter, F. Valladares y T. Maraño. 2004. Tasas de crecimiento en especies leñosas: aspectos funcionales e implicaciones ecológicas. En: F. Valladares (ed.), *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*, 191-227, EGRAF, Madrid.
- Variar, A., A. K. Vari y M. Dadlani. 2010. The subcellular basis of seed priming. *Current Science*. 99: 450-456.
- Westoby, M.; Falster, D.S.; Moles, Angela; Vesk, P.A. & Wright, I.J. 2002. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 33: 125-159.

Jorge A. Sánchez Rendón. Investigador Titular. Dr. en Ciencias Biológicas. Especialista en Ecofisiología de la Germinación. División Ecología Funcional. Instituto de Ecología y Sistemática, La Habana, Cuba.

✉ jasanchez@ecologia.cu