

ción, el ambiente lumínico al que está sometida la semilla, la concentración de oxígeno en el medio, las características físico-químicas del suelo, el tipo de superficie que presenta la semilla, etc.

Los dos últimos factores se corresponden con las relaciones hídricas que se establecen entre la semilla y el suelo; posiblemente una de las más importantes sea el grado de contacto entre las semillas y el sustrato húmedo. En este sentido, la microtopografía del suelo juega un papel significativo, al encontrarse menos disponible el agua en una superficie lisa que en una rugosa. Igualmente, el tamaño de la semilla, su forma y las características de su superficie también determinarán, en gran medida, el grado de contacto entre esta y el agua circundante.

Para el desenvolvimiento de la germinación es imprescindible que, durante todo el proceso, el potencial de agua del suelo sea superior al existente en el interior de la semilla. En la simiente seca, esta diferencia de potenciales es marcada; por consiguiente, el agua se moviliza del suelo al interior de esta. En la medida que la semilla se hidrata el potencial disminuye; así mismo, la difusión del oxígeno se afecta fuertemente debido a la hidratación seminal. Por ello, tanto la cantidad de agua, como la velocidad de entrada, disminuyen. Sin embargo, esta entrada de agua favorece la movilización y síntesis de compuestos, que provocan, nuevamente, la disminución de potencial de agua en la semilla de forma escalonada. Se reinicia, entonces, otro nuevo ciclo de acceso del agua, pero en este caso regulado por la nueva síntesis de compuestos.

Temperatura

La temperatura constituye el factor ambiental que continúa en importancia en el desencadenamiento de la germinación. Si el agua constituye por

excelencia el factor detonante de la germinación, la temperatura establece las vías por donde esta debe ocurrir y hasta donde llegar. Durante el proceso germinativo, ocurren una serie de eventos metabólicos que se afectan por la temperatura a la que se encuentran sometidas las semillas. En el caso de las semillas se reconocen tres procesos fisiológicos independientes regulados por la temperatura: I) la relación entre la temperatura y el contenido de humedad determinan la velocidad del deterioro seminal; II) la temperatura afecta la velocidad de liberación de la dormancia en semillas secas; mientras que el patrón de dormancia cambia en semillas hidratadas y III) en semillas no dormantes, la temperatura determina la velocidad de germinación, directa o indirectamente. Por consiguiente, no es sorprendente que el porcentaje final de germinación, la velocidad del proceso y el porcentaje de semillas muertas, sean dependientes de la temperatura.

Algunas especies presentan mejores respuestas germinativas a temperaturas constantes; mientras que otras requieren de temperaturas alternas para obtener mejores resultados. Sin embargo, las semillas, en condiciones naturales, pocas veces se encuentran sometidas a temperaturas constantes por largos períodos. La respuesta germinativa de las especies sometidas a alternancia de temperatura depende fundamentalmente de: 1) los valores extremos del termoperíodo, 2) de la amplitud del termoperíodo, 3) del tiempo en que las semillas están expuestas a la máxima temperatura, y 4) de los ciclos del termoperíodo.

Iluminación

El tercer factor en importancia para el desencadenamiento del proceso germinativo lo constituye la exposición de las semillas a la luz blanca. Una de

las formas en que las semillas exploran el clima lumínico y desatan el proceso germinativo es mediante el sistema de fitocromos. Los fitocromos son cromoproteínas que se encuentran en las membranas celulares. Presentan dos formas estables e intercambiables, una inactiva (Pr) que absorbe luz entre los 620-665 nm, y otra activa (Pfr) que absorbe entre los 720-735 nm. El sistema de fitocromo opera más cuantitativamente para limitar las velocidades de los procesos, que cualitativamente para seleccionar entre diversos destinos potenciales de desarrollo.

En la actualidad, se reconoce que el sistema de fitocromo está constituido, básicamente, por 5 tipos (fitocromo A, B, C, D y E), cada uno con ambas formas (Pfr y Pr); dichos tipos están codificados genéticamente, e identificados con igual nombre. En general, se aceptan tres tipos de mecanismo de respuesta de las semillas a la luz: respuesta de baja energía (LER), respuesta de muy baja energía (VLER) y respuesta de alta energía (HIR), que están asociados a los tipos de fitocromos que conforman el sistema. Estos mecanismos son:

- **Mecanismo de respuesta LER:** Representado por la respuesta reversible clásica entre la luz roja y la roja-lejana, en la cual la producción de Pfr promueve la germinación y el Pr la inhibe. En este tipo de respuesta se involucran, principalmente, el fitocromo B, y en menor cuantía, los fitocromos D y E.
- **Mecanismo de respuesta VLER:** Se manifiesta, cuando se promueve la germinación de semillas sometidas a bajas o altas temperaturas ante dosis extremadamente bajas de flujo fotónico, o ante altos niveles de hidratación seminal en la oscuridad, para semillas sensibles a la luz. Se involucra, principalmente el fitocromo A.

- **Mecanismo de respuesta HIR:** Se observan en semillas que ante un largo tiempo de exposición a la luz blanca tienden a inhibir la germinación, cuando la densidad del flujo fotónico es alta. Se involucra principalmente el fitocromo A. En algunos casos, la irradiación con luz roja estimula la germinación.

En la actualidad, la clasificación de la respuesta de las semillas a la luz comprende tanto a los tipos de fitocromos implicados en dicho proceso, como a los mecanismos de respuesta que involucren. En este sentido se reconocen tres formas de respuesta a la luz:

- **Fotoblásticas positivas:** Germinan solo ante luz blanca. Involucran al fitocromo B, y parcialmente los fitocromos D y E, que controlan el proceso de germinación, mediante un mecanismo tipo LER. La luz roja estimula la germinación, mientras que la luz roja-lejana la inhibe.
- **Fotoblástica negativa:** Germinan solo en oscuridad, la presencia de luz blanca inhibe la germinación. Involucran al fitocromo A, controlando el proceso germinativo, a través de un mecanismo tipo HIR; o cuando el nivel de Pfr preexistente es suficientemente alto, se induce la germinación en la oscuridad, pero, en este caso, mediante un mecanismo tipo LER regulado por el fitocromo B.
- **Fotoblástica indiferente o insensible a la luz:** Son semillas que involucran al fitocromo A para controlar la germinación, mediante un mecanismo tipo VLER.

Sin embargo, la luz no es el único factor que puede cambiar la relación entre el fitocromo activo y el inactivo (Pfr/Pr) en las semillas. Esta relación también puede ser modificada por el ambiente edáfico que rodea a

los propágulos. Factores tales como: la temperatura y el tipo de suelo, la hojarasca, la concentración de CO₂ y de O₂, y la humedad que alcanzan las semillas entre otros, pueden jugar un papel importante sobre los niveles de Pfr/Pr. Se plantea que el suelo constituye un filtro de luz, a través del cual solo penetran principalmente las longitudes de ondas largas (inactivadoras de la germinación). Por otra parte, el clima lumínico a que está sometida una semilla depende de su posición en el suelo, de la cantidad y calidad de hojarasca sobre esta y del dosel de la vegetación que la rodea. A su vez, estas variaciones del clima lumínico pueden darse tanto en composición espectral, en densidad del flujo fotónico y en duración de la exposición. Por consiguiente, la respuesta germinativa de las semillas a la luz es sumamente amplia y compleja.

PRUEBAS DE GERMINACIÓN

Existe un gran número de investigaciones dirigidas al estudio de los factores que inducen la germinación de las semillas y se han propuesto numerosas alternativas para dilucidar los requerimientos germinativos de las especies, determinar el tipo de dormancia y su eliminación, abreviar la germinación, e inducir este proceso en semillas afectadas fisiológicamente, envejecidas o aun inmaduras. Si es la primera vez que se va realizar un estudio seminal (incluida la prueba de germinación) de una especie, es imprescindible realizar los siguientes pasos:

- Seleccionar una muestra de semillas de origen y edad conocida, colectada y almacenada de manera adecuada.
- Determinar si el tamaño de la muestra disponible es suficiente para diseñar una secuencia del experimento.

- Realizar pruebas de imbibición, para descartar presencia de dormancia física.
- Determinar contenido de humedad de la semilla fresca y dimensiones.
- Inmediatamente después de la colecta seleccionar el medio de germinación adecuado. Seleccionar las condiciones de luz y temperatura que deben establecerse en la prueba de germinación, de acuerdo con las características del hábitat de donde provienen las semillas.
- Si se detecta dormancia física (prueba de imbibición), montar junto con la prueba de germinación otro ensayo con semillas escarificadas (aplicando métodos mecánicos o químicos) en las mismas condiciones.
- Verificar si hubo solubilidad de compuestos en el medio que impidan la germinación. Si la respuesta es positiva, lavar las semillas con agua abundante.
- La prueba de germinación debe extenderse, como mínimo, por espacio de 30 días. Si a los 28 días no se ha obtenido germinación o esta es baja, al menos la parte del lote que no germinó presenta dormancia.
- Si entre 15 o 20 días no se ha obtenido germinación, ensayar otras pruebas de germinación, pero con semillas a las que se les aplicó algún tipo de tratamiento pregerminativo según el tipo de dormancia que se reporta por la literatura para la familia botánica o por criterios del investigador.

La consecución de los pasos antes señalados es de gran importancia; una alteración en los mismos podría ocasionar resultados no confiables. Existen diferentes medios de germinación; la selección de uno u otro

dependerá de las características del diseminulo a emplear y de los requerimientos del diseño seleccionado. Entre los medios más empleados se encuentran:

- **Agar-agar al 1 %:** Es un medio con humedad estable y baja contaminación. En condiciones de sombra es muy útil, sobre todo en el campo, ya que conserva la humedad por un tiempo prolongado, pero en condiciones de insolación se deshidrata y el agua anega el recipiente. Permite ver con facilidad la emergencia de la radícula. Si el tamaño seminal lo permite, es el de uso más aconsejable.
- **Vermiculita y agrolita:** Es más bien un medio de crecimiento, pero útil en semillas grandes; sin embargo, dificulta la localización de los propágulos pequeños. Conserva la humedad más tiempo que el papel, pero es necesario regular la humedad. Se puede regular la profundidad de siembra. Aconsejable para semillas de gran tamaño.
- **Arena:** Debe ser lavada cuidadosamente para eliminar la presencia de sales. Las mismas observaciones que la vermiculita.
- **Papel de filtro:** La humedad se debe controlar constantemente para evitar su deshidratación. No es adecuado para semillas de forma redondeadas o de gran tamaño.
- **Algodón:** Las mismas observaciones que el papel de filtro. Tiene la gran desventaja de contaminarse con facilidad.
- **Toallas de papel:** Es barato, pero presenta limitaciones similares a las del papel de filtro.
- **Suelo:** Las mismas observaciones que la vermiculita. Además se debe

considerar que puede proveer estímulos de naturaleza compleja. Se aconseja solo en prueba de campo.

Los ensayos de germinación en laboratorio deben tener en cuenta las simulaciones de los efectos del ambiente, combinados o no con tratamientos que eliminen dormancia seminal, incrementen y sincronicen la germinación, y recuperen el vigor en las semillas para propiciar salidas que favorezcan la conservación y reproducción masiva de una determinada especie con vistas de ser incluida en los planes silvícolas. En general, se recomienda el empleo de temperaturas fijas y alternas, así como de la presencia o ausencia de luz blanca; de manera que abarque todo el ambiente térmico y luminoso, donde se desarrolla la especie. Por tal motivo, es necesario, previo al montaje de una prueba de germinación, evaluar el ambiente de la especie en cuestión.

Para los ecosistemas boscosos de Cuba, se recomienda el ensayo de experimentos factoriales a fin de conocer el efecto de la temperatura y la iluminación sobre la respuesta germinativa, de forma tal que involucren tratamientos que simulen las variaciones que sufre la temperatura del suelo desde el interior del bosque hasta el claro. Se recomienda utilizar cuatro niveles de temperatura: una fija de 25 °C y 3 termoperíodos 25-30 °C, 25-35 °C y 25-40 °C, con una alternancia de 12 horas para 25 °C y 8 horas para la más alta de cada termoperíodo, con una transición entre las mismas de 4 horas. Los tratamientos de iluminación deben ser: 1) oscuridad total, que se logra envolviendo las placas con las semillas en dos capas de papel de aluminio, y 2) fotoperíodo de 8 horas-luz, que coincida con la exposición a la mayor temperatura. Estas condiciones son las promedios que pueden encontrarse para los bosques semidecíduos (que

son los más abundantes en Cuba) y siempreverdes en el territorio nacional.

Si las plantas habitan en vegetación de costa, la alternancia de temperatura a emplear debe ser mayor. Si estamos en presencia de una planta de vegetación de manglar, se impone el empleo de agua del mar (no agua con sal) a diferentes concentraciones hasta determinar la concentración letal para la especie. En este caso se deben realizar cambios frecuentes del medio para mantener las concentraciones establecidas.

PRUEBAS DE EMERGENCIA

En el caso de los ensayos de germinación en vivero o en campo lo que se evalúa no es el porcentaje de germinación, sino el de emergencia. La germinación *sensu stricto* ocurre en el interior de la semilla, durante el proceso de germinación. Desde el punto de vista fisiológico, es suficiente la ruptura de la cubierta seminal por la radícula para dar concluido el proceso germinativo. Sin embargo, desde el punto de vista agronómico se requiere de plántulas sanas; por consiguiente, el criterio de germinación se amplía hasta la salida del epicótilo y exposición de los cotiledones. Como este proceso ocurre generalmente bajo tierra, al emerger del sustrato los cotiledones, o el epicótilo, ya en la radícula afloran raicillas que promueven el intercambio con el medio, iniciándose las primeras fases del establecimiento. Por tal motivo el nombre correcto para la evaluación de la cantidad de plántulas que emergen del sustrato, cuando la siembra se realiza en campo es: "Pruebas de emergencia", y no como habitualmente se denomina refiriéndose a pruebas de germinación.

Al igual que en los ensayos de germinación en laboratorio, se deben tener

en cuenta las simulaciones del ambiente. Es importante localizar o crear en cada área de vivero condiciones que permitan obtener variantes térmicas en los sustratos. Tres condiciones básicas resultan indispensables:

1. Área con plena exposición solar, donde exista un máximo de alternancia de temperatura.
2. Área sombreada, con muy baja fluctuación diaria de temperatura. Se debe escoger un sitio bajo la sombra natural de vegetación arbórea, donde la temperatura se mantenga lo más estable posible; por consiguiente, dicho sitio generalmente debe localizarse en el centro del área.
3. Área semiprotectida, donde la amplitud del termoperíodo sea moderada. Esta variante puede lograrse realizando dentro de un área a plena exposición solar, un tapado con ramas de árboles. Las variantes térmicas a obtener bajo dicho tapado estarán determinadas por el tipo de rama a emplear y por el cierre o apertura de las mismas; y estarán determinadas por las condiciones que se deseen simular en dependencia de los requerimientos térmicos de las especies a reproducir.

La creación de estas condiciones básicas debe realizarse de manera individual para cada vivero. Es imprescindible realizar mediciones frecuentes de temperatura, no solo para la creación de estos espacios dentro de un vivero, sino para conocer las posibles modificaciones en el porcentaje de plántulas a obtener; debido a que la temperatura es uno de los factores más importantes en los procesos germinativos y de crecimiento de las plantas. Además, las condiciones térmicas a simular también resultan particulares para cada vivero en dependencia de la época del año y de la localización del mismo.

A su vez, estas combinaciones de temperatura del sustrato deben mezclarse con variantes de semillas enterradas y sin enterrar; con el objetivo de determinar la condición fotoblástica de la especie. En semillas pequeñas (tamaño inferior a 2 cm) resulta imprescindible realizar ensayos, donde se tenga en cuenta la exposición a la luz solar. En semillas grandes (tamaño superior a 3 cm) la probabilidad de que la exposición a la luz solar produzca resultados favorables es muy baja, y deberán germinar mejor con poca alternancia de temperatura del sustrato. Lo antes planteado no implica la realización de todas las variantes posibles, solo se refieren a los posibles resultados a obtener.

En algunas especies (sobre todo de árboles tropicales de bosque húmedo), la emergencia de la plántula del sustrato puede ser un proceso largo. Por consiguiente, se recomienda sembrar las semillas cercanas a la superficie del suelo para poder determinar, lo más ajustado a la realidad, las variables porcentaje de emergencia e inicio del proceso. Se deben tener en cuenta, igualmente, todos los requerimientos para el diseño de viveros; así como los referidos a tamaño de muestra y tipos de diseño experimental en campo.

Las pruebas de germinación en campo no favorecen la determinación exacta del tipo de dormancia que presentan las semillas de una especie; sin embargo, sus resultados resultan muy favorables para brindar recomendaciones para la reproducción en vivero. Además, permiten obtener datos de crecimiento y desarrollo de la planta y de cada una de sus partes, información sumamente útil a los esfuerzos de rehabilitación ecológica. La combinación de estudios de dormancia y germinación en laboratorio y campo resulta la más apropiada para dicho objetivo.

IMPORTANCIA Y PRINCIPALES PROBLEMAS EN LA IMPLEMENTACIÓN DE LA REFORESTACIÓN SUCESIONAL EN LOS TRÓPICOS

Históricamente, en los trópicos no existe una correspondencia entre los esfuerzos de siembra de especies, con el objetivo de rehabilitar y/o reforestar áreas degradadas, y la extensión de área boscosa cubierta. Cuba no escapa de esta regla, con la excepción de grandes plantaciones de pinos, majaguas, y otras especies en menor cuantía. Este desbalance entre esfuerzo de siembra y cobertura boscosa alcanzada, parece tener su base en la práctica de sembrar especies adaptadas a crecer dentro del bosque (vegetación primaria) en ambientes abiertos, como las áreas degradadas. En los últimos 50 años, se han desarrollado investigaciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas, que han servido de base para el desarrollo de estrategias de rehabilitación de los mismos. Estas estrategias de rehabilitación tienen en cuenta los grupos sucesionales de las especies que lo integran; y poseen como premisa la siembra, por etapas, de mezclas de especies de diferentes grupos funcionales, según avance la sucesión. Esta técnica se conoce en Cuba como "reforestación sucesional".

Uno de los principales problemas que confronta su aplicación es el de no contar con la información requerida para la reproducción, a escala de vivero, de especies arbóreas nativas a cada región. Aunque se conocen, de manera general, las características que identifican cada grupo sucesional, el estudio de los requerimientos germinativos y de ruptura de dormancia de estas plantas es limitado y se ha restringido a algunas especies de alto valor comercial. Por otra parte, como dichos estudios

han tenido como principal objetivo la comprensión del funcionamiento de ecosistemas, el enfoque práctico para resolver los condicionamientos reproductivos de las especies no se ofrece o aparece disgregado en la información.

Mediante los procesos de selección natural, las especies han desarrollado una serie de características o síndromes que favorecen el desarrollo y establecimiento en diferentes ambientes. Investigaciones sobre el funcionamiento de los ecosistemas han permitido establecer grupos de funcionamiento que permiten explicar la aparición, permanencia y supresión de diferentes plantas según avance la sucesión vegetal.

Mundialmente, se reconocen dos grandes grupos de funcionamiento: el de pioneras y el de no pioneras o *climax*; aunque existen diferentes clasificaciones donde el número de grupos de funcionamiento ecológico varía. Sin embargo, es bastante extendida la aceptación de al menos tres grupos: un primer grupo correspondiente a las especies que requieren de plena luz solar para establecerse; un segundo grupo en el cual el establecimiento de las especies no está fuertemente condicionado a la luz solar o son capaces de tolerar la sombra en su crecimiento; y el tercer grupo que requiere de sombra, durante todo el proceso de germinación y establecimiento.

En general, cualquier criterio de clasificación se basa en la capacidad o incapacidad de las plantas para crecer y desarrollarse en ambientes de alta incidencia luminosa; determinadas por características morfológicas y fisiológicas de dichas plantas fijadas en el transcurso del proceso evolutivo de cada especie. De esta manera, las plantas pertenecientes al primer grupo tienden a desarrollarse en lugares perturbados (vegetación secundaria) y tienen altas habilidades de reproducción (selección *r*); y, conse-

cientemente, son capaces de ocupar lugares desprovistos de vegetación; mientras que las correspondientes al tercer grupo, se desarrollan con preferencia en lugares conservados o en ambientes no alterados (vegetación primaria), tienen altas habilidades competitivas que les permite "rivalizar" con otras plantas por espacio y alimento (selección *K*). El segundo grupo ocupa una posición intermedia y sus plantas presentan tanto habilidades reproductivas como competitivas (selección *r-K*).

ESPECIES ARBÓREAS NATIVAS Y NATURALIZADAS ÚTILES PARA LA REHABILITACIÓN DE SITIOS BOSCOSOS EN EL ÁREA DE SABANA-CAMAGÜEY

El proyecto "Potenciar la protección de la biodiversidad en tres sectores productivos del ecosistema Sabana-Camagüey", lleva varios años de trabajo. En la actualidad, se desarrolla la tercera etapa, cuyo objetivo básico es la aplicación de los resultados obtenidos, durante las dos etapas anteriores. Investigaciones sobre Diversidad Biológica y Ecofisiología de la Reproducción, servirán como base para la implementación de la rehabilitación de cambio de uso de áreas dejadas por la agricultura y enriquecimiento de ecosistemas alterados en la zona de estudio.

En este sentido, el presente trabajo brinda fichas de 16 especies arbóreas nativas o naturalizadas, que, en la mayoría, no se encuentran incluidas en el plan nacional de reforestación, que favorecerán la reproducción y establecimiento de dichas especies, con especificaciones de uso y empleo en diferentes etapas de rehabilitación ecológica en el área de estudio del referido proyecto. Dichas especies son:

Nombre científico

Cecropia peltata L.
Ceiba pentandra (L.) Gaertn.
Citharexylum spinosum L.
Colubrina arborescens (Mill.) Sarg.
Cordia alba (Jacq.) Roem. & Schult.
Cordia alliodora L.
Ehretia tinifolia L.
Guazuma ulmifolia Lam.
Hibiscus elatus Sw.
Lysiloma sabicu Benth
Muntingia calabura L.
Oxandra lanceolata (Sw.) Baill.
Samanea saman (Jacq.) Merr.
Sideroxylon foetidissimum Jacq.
Trema micrantha (L.) Blume
Trichilia hirta L.
Thrinax radiata Lodd. ex Schult.

Nombre común más utilizado

Yagruma
 Ceiba
 Ateje de costa
 Bijáguara
 Ateje amarillo
 Ateje
 Roble prieto
 Guásima
 Majagua
 Sobicú
 Capulí
 Yaya
 Algarrobo
 Jocuma
 Capulí cimarrón
 Cabo de hacha
 Guano de costa

Nombre científico: *Cecropia peltata* L.
Familia botánica: Urticaceae (antes Moraceae)
Nombre común o vernáculo: "Yagruma"

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

Árbol nativo, dioico, semicaducifolio de hasta 15 m, con abundante látex; hojas pecioladas de 30-50 cm de diámetro, suborbiculares con 7-9 lóbulos, el haz de color verde oscuro y el envés blanco-tomentoso (Fig. 1); inflorescencia en espiga, las masculinas de 4 cm, las femeninas en grupos de 2-6. Se distribuye en todas las Antillas y América Tropical Continental. Habita en bosque semicaducifolio y puede permanecer como árbol emergente de bosques húmedos, habita también en sitios perturbados (vegetación secundaria) correspondientes a estos tipos de vegetación. La planta se clasifica en



Fig. 1. Ramas mostrando los frutos de *Cecropia peltata*.

el grupo funcional de estrategia sucesional de pionera temprana; mientras que por su origen y capacidad de ocupación de hábitat se cataloga como intrapófito pionero.

Fruto en sorosis (Fig. 2), cuando maduro de color blanquecino. Cantidad de semillas por fruto: 1 200. Cantidad de semillas/Kg: 620 000.